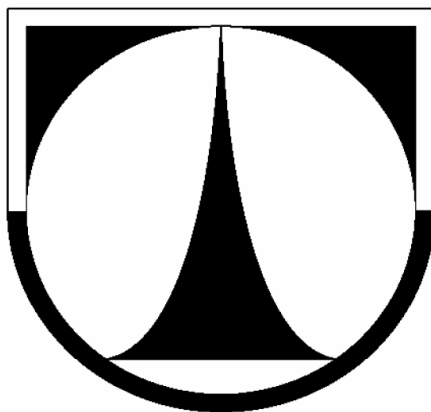


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

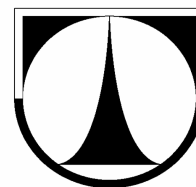
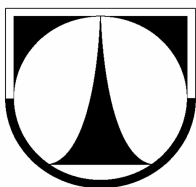
KATEDRA MATERIÁLU



Diplomová práce

2011

MARTIN PETERA



Katedra materiálu

Studijní rok 2010/2011

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Nedestruktivní diagnostika oduhličení souboru ocelí

Non-destructive diagnostic of decarbonization files of steels

KMT – 270

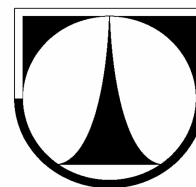
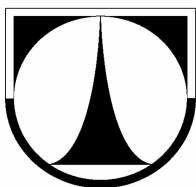
Martin Petera

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	52
Počet obrázků:	11
Počet tabulek:	17
Počet grafů:	27
Počet příloh:	5

V Liberci dne 15.5.2011



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Martin PETERA
studijní program	N 2301 Strojní inženýrství
obor	2303 T 002 Strojírenská technologie
zaměření	Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Nedestruktivní diagnostika oduhličení souboru ocelí

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle magisterské práce a doporučené metody pro vypracování)

- 1) *Seznamte se s významem a měřením oduhličení ocelí dle EN-ČSN .*
- 2) *Vypracujte databázi výchozích vlastností experimentálních vzorků vybraných ocelí (55) ot*
- 3) *Proveďte postupné oduhličování, měření oduhličení a dalších vybraných vlastností (FzUAVČR) vzorků dle EN..*
- 4) *Diskutujte možnosti NDT vrstev oduhličených druhů ocelí. Podpora projektem GAČR 1323.*

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 40 - 50 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] EN ISO 3887 Stanovení hloubky oduhličení.
- [2] Kopec. B, a kol. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí. CERM akademické vydavatelství, Brno, 2008, ISBN-978-80-7204-591-4
- [3] Skrbek, . Charakteristika oduhličení ocelových plechů po různých expozicích. METAL 2010, sborník na CD, přednes C42, TANGER Ostrava, ISBN 978 80 87294 15 4

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

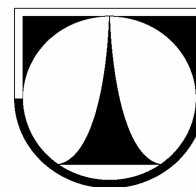
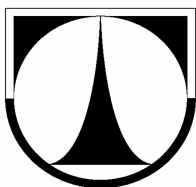
L.S.

Prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.
vedoucí katedry

Doc.Ing.Miroslav Malý,CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10. 2010

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ) . Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



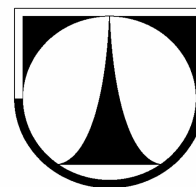
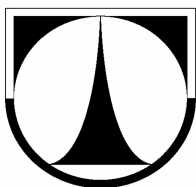
ANOTACE

OBOR:	Materiály a technologie
ZAMĚŘENÍ:	Materiálové inženýrství
AUTOR:	Martin Petera
TÉMA PRÁCE:	Nedestruktivní diagnostika oduhličení souboru ocelí
ČÍSLO PRÁCE:	KMT – 270
VEDOUcí PRÁCE:	doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Tato diplomová práce je zaměřena na měření a vyhodnocování oduhličených vrstev souboru různých tříd ocelí. Jedná se o nedestruktivní testování metodou magnetické skvrny a vyhodnocování oduhličení v závislosti na hmotnostních změnách při tepelném zpracování. Testovací soubor tvoří tyčky čtvercového průřezu 4x4mm a délky 100mm, které dříve vyráběla firma POLDY pro jiskrové zkoušky.

Klíčová slova:

oduhličení, nedestruktivní zkoušení materiálu, měření tvrdosti



ANNOTATION

SPECIALIZATION:	Materials and technologies
FOCUSING:	Material engineering
AUTHOR:	Martin Petera
SUBJECT OF THE WORK:	Non-destructive diagnostic of decarbonization files of steels
NUMBER OF THE THESIS:	KMT - 270
LEADER OF THE WORK:	doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

This thesis is focused on measurement and evaluating of decarburized layers of set different grades of steel. There is used non-destructive testing by method magnetic spot and also evaluating of relation between decarburization and weight changes by heat processing. Testing set forms stake of square section 4x4mm and length 100mm formerly manufactured by company POLDY for sparkle examination.

Keywords:

decarburization, non - destructive material testing, metering hardness

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. za jeho odborné vedení a rady týkající se mé diplomové práce a panu Ing. Davidu Pospíšilovi. Dále paní Vlastě Čílové a panu Ing. Václavu Kubíčkovi za pomoc při měření experimentu.

OBSAH:

1.ÚVOD.....	10
2.CÍLE PRÁCE.....	10
3.TEORETICKÁ ČÁST.....	11
3.1. DIFÚZE UHLÍKU	11
3.2. ODUHLIČENÍ OCELI.....	13
3.2.1. Základní teorie	13
3.2.2. Přehled podmínek vedoucích k oduhličení	17
3.2.3. Metody měření oduhličení	19
3.2.3.1. Metoda metalografická	20
3.2.3.2. Metoda měření mikrotvrdosti	20
3.2.3.3. Metoda stanovení obsahu uhlíku	20
3.2.4. Náchylnost ocelí k oduhličení	21
3.2.5. Škodlivé účinky oduhličení.....	21
3.2.6. Napravování a zabráňování oduhličení.....	22
3.3. ZKOUŠKY MĚŘENÍ TVRDOSTI	24
3.3.1. Zkouška vrypová	24
3.3.2. Zkouška vnikací	24
3.3.2. Zkouška odrazová	26
3.4. ZÁKLADY NEDESTRUKTIVNÍHO TESTOVÁNÍ MATERIÁLŮ	27
3.4.1. Měření elektromagnetických vlastností materiálu (využití ke strukturoskopii)	28
3.4.1.1. Měření permeability	29
3.4.1.1.1. <i>Metoda magnetického adaptivního testování (MAT)</i>	30
3.4.1.2. Měření koercivity a remanence	31
3.4.1.2.1. <i>Metoda magnetického bodového pólu</i>	32
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
4.1. CHEMICKÉ SLOŽENÍ VZORKŮ, ZMĚŘENÉ VLASTNOSTI	35
4.2. TEPLOTNÍ PRŮBĚHY TP	37
4.2.1. TP pro 1a	37
4.2.2. TP pro 2b	39
4.2.3. TP pro 3b	41
4.3. ZÁVISLOSTI, VZTAHY	42
4.3.1. Závislosti hmotnosti okují na hloubce oduhličení d2	43
4.3.2. Závislosti hmotnosti vzorků po okartáčování na hloubce oduhličení d2	45
4.3.3. Závislosti přírůstku intenzity zbytkového pole vzorků na hloubce oduhličení d2.....	47
5. DISKUZE:.....	49
6. ZÁVĚR:	51
POUŽITÁ LITERATURA:.....	52
SEZNAM PŘÍLOH:	52

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY:

NDT	-nedestruktivní testování
M, ØM, M4	-remanentní magnetismus (A/m)
HV	-tvrdost dle Vickerse
HK	-tvrdost dle Knopa
UT	- ultrazvukové testování
MT	- magnetické práškové testování
PT	- zkoušky penetrační
ET	- zkoušky vířivými proudy
AE	- zkoušky akustické
RT	- zkoušky prozařovací
IT	- zkoušky infračervenou termografií
VT	- zkoušky vizuální
LT	- zkoušky těsnosti
TZ	- tepelné zpracování
M.Č.	- moje číslo
PTZ	- vzorky bez tepelného zpracování (výchozí)
10min,30min,90min	- vzorky po 10, 30 a 90 minutách žíhání
10o,30o,90o	- vzorky po 10, 30 a 90 minutách žíhání a s okujemi
10n,30n	- vzorky po 10, 30 a 90 minutách žíhání a po odokujení
Mxxx	- magnetismus M4 vybrané skupiny
Mxxx	- hmotnost vybrané skupiny
ZST	- základní sada tyček
SPM	- sada tyček pro metalografii
TZ	- tepelné zpracování
MAT	- metoda adaptivního testování
VTO	- volené teploty oduhličování
IOT	- intervaly výdrží na oduhličovacích teplotách

1.Úvod [1]

Poslední monoatomární vrstva velmi významně ovlivňuje vlastnosti celého materiálu a to i přes to, že v poměru s celým materiálem zaujímá většinou velmi zanedbatelný objem. Je to především v důsledku přímého kontaktu z okolím, v důsledku většinou prvotní a nejintenzivnější interakce na rozdíl od zbylého objemu. Pokud není povrch dostatečně pevný nebo celistvý, může se to znatelně negativně projevit na celém materiálu.

Mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější metody na zvýšení pevnosti povrchu ocelí patří především tepelná zpracování –kalení, případně chemicko-tepelná zpracování či jiná. Tyto procesy se cíleně provádějí ke zlepšení vlastností materiálu, na toto téma bylo provedeno mnoho pokusů a napsána spousta publikací.

Ve své práci se však zabývám obrácenými postupy, a to degradačními procesy – cílenému oduhličování materiálu. Na toto téma existuje velmi málo publikací a proto by měla být tato práce určitým přínosem v této oblasti.

2.Cíle práce

Hlavním smyslem a účelem mé diplomové práce, bylo zjistit jak moc se oduhličují různé třídy ocelí s různými přísadami, v závislosti na čase při daných teplotách. Dále jsem měl zjistit jak se toto oduhličení projeví na vybrané materiálové vlastnosti a možnosti NDT měření oduhličení.

3. Teoretická část

3.1. Difúze uhlíku [2]

Uhlík tvoří s železem intersticiální tuhý roztok, ve kterém má intersticiální uhlík vysokou pohyblivost, což v důsledku znamená, že se přizpůsobuje řádově velmi rychle změnám koncentrace substitučně uložených přísad. Právě v takovýchto případech mluvíme o kvazistacionární difúzi uhlíku.

Nejpoužívanější rovnice z hlediska termodynamiky pro kvazistacionární difúzi:

Síla působící na 1 atom:

$$S_c = -\frac{1}{N} \frac{\partial \mu_c}{\partial x} \quad (1)$$

NAvogadrovo číslo

$\frac{\partial \mu_c}{\partial x}$ chemický potenciál uhlíku v místě x

Rychlost migrace:

$$v_c = -\frac{Bc}{N} \frac{\partial \mu_c}{\partial x} = -B_c kT \frac{\partial \ln a_c}{\partial x} \quad (2)$$

Bcpohyblivost

NAvogadrovo číslo

$\frac{\partial \mu_c}{\partial x}$ chemický potenciál uhlíku v místě x

kBoltzmannova konstanta $k=R/N$

Tabsolutní teplota

a_ctermodynamická aktivita uhlíku

Difúzní tok:

$$J_c = -B_c kT \frac{\partial \ln a_c}{\partial \ln N_c} \frac{\partial N_c}{\partial x} = -D_c \frac{\partial N_c}{\partial x} \quad (3)$$

N_cmolový zlomek uhlíku

D_cdifuzní koeficient

Difúzní koeficient

$$D_c = B_c kT \frac{\partial \ln a_c}{\partial \ln N_c} \quad (4)$$

Difúzní tok (podle Birchenalla a Mehla):

$$J_c = -D_c^a \frac{\partial a_c}{\partial x} = -D_c^a \gamma_c \frac{\partial \ln a_c}{\partial \ln N_c} \frac{\partial N_c}{\partial x} \quad (5)$$

D_c^adifuzní koeficient číselně odlišný od D_c

γ_c aktivitní koeficient

Porovnáním (3) a (5) můžeme psát:

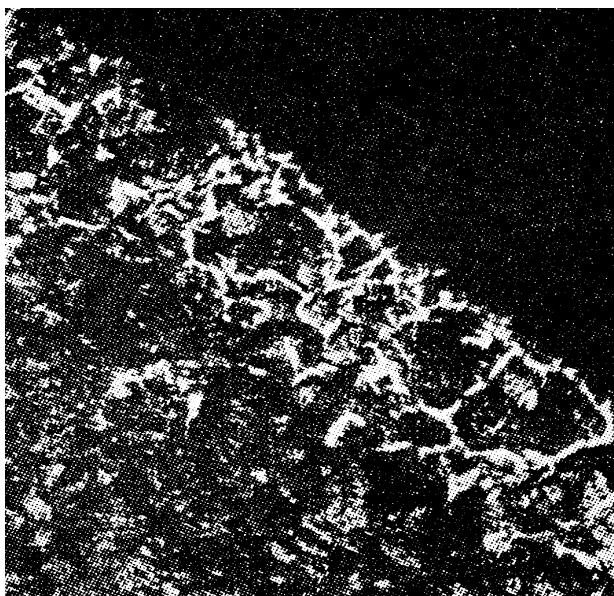
$$B_c kT \frac{\partial \ln a_c}{\partial \ln N_c} = D_c^a \gamma_c \frac{\partial \ln a_c}{\partial \ln N_c} \quad (6)$$

$$B_c kT = D_c^a \gamma_c \quad (7)$$

3.2. Oduhličení oceli [3,4,7]

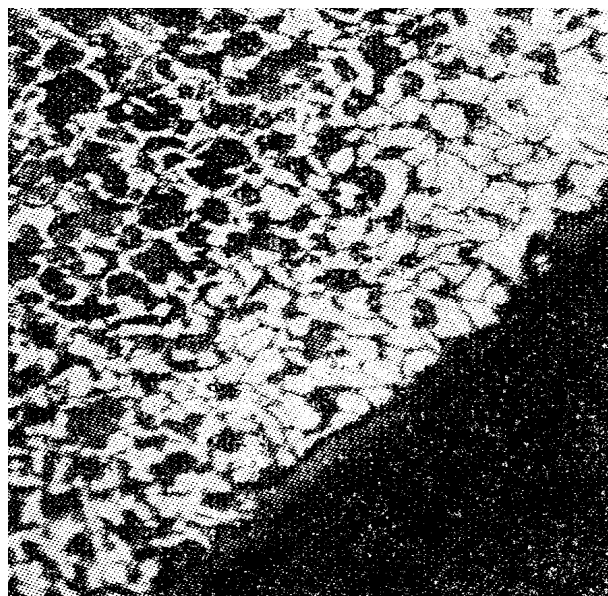
3.2.1. Základní teorie

Definice oduhličení podle ASM Metals Handbooku z roku 1948 je „ztráta uhlíku z povrchových vrstev slitin železa následkem ohřevu v prostředí, které reaguje s uhlíkem“. Takto vytvořená definice však nezahrnuje oduhličení při ohřevu ve vakuu, které vzniká reakcí okují se základním kovem. Riziko oduhličení povrchu ocelí nastává při všech vysokoteplotních ohřevech v okysličujících atmosférách, pokud neprovedeme zvláštní ochranná opatření. Pokud bychom chtěli zjistit plný rozsah opotřebení je to možné pouze mikroskopicky. V mikroskopu můžeme potom pozorovat, kolik uhlíku se odstranilo z ocelí následkem oduhličení (obr. 1 a obr. 2).



Obr. č. 1

-oduhličený povrch drátu (130x zvětšení)



Obr. č. 2

-oduhličený povrch drátu (130x zvětšení)

Pokud dojde například k jednostrannému oduhličení pérového drátu, mohou pak při tažení vznikat příčné trhliny, a to z důvodu snížené pevnosti oduhličeného povrchu drátu oproti pevnosti povrchu neoduhličeného drátu, která je větší (obr. 3). Obdobně tomu je i u kalení, kde následkem oduhličení nedostaneme rovnoměrné zakalení. Pokud dojde například k oduhličení hlavy kolejnic, potom bude tato kolejnice rychleji opotřebována a bude nutné ji brzy vyměnit.



Obr. č. 3

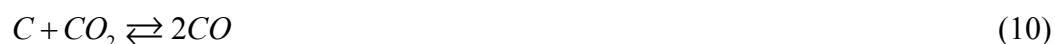
Patentovaný drát prasklý při tažení (130x zvětšení)

Oduhličení způsobuje především kyslík, kysličník uhličitý (CO_2), vlhkost, vlhký vodík a některé uhlovodíky.

Reakce které probíhají mezi železem, kysličníkem uhličitým a vodní párou jsou následující:



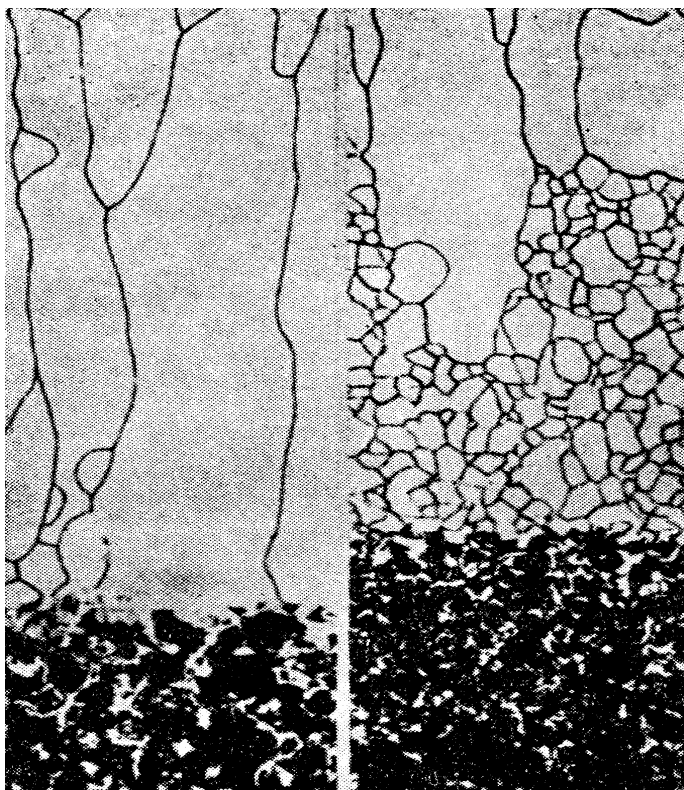
Reakce pro nauhličování a oduhličování jsou následující:



Oxidační reakce je značně zpomalená, pokud na povrchu vznikne dostatečné množství okují a až potom začne docházet k oduhličování. Oduhličená hloubka závisí na atmosféře, ve které probíhá ohřev, dále na době ohřevu a teplotě. Největší hloubka feritového pásma byla zjištěna po oduhličování při teplotách blízkých A_3 .

Bylo zjištěno že cementační zásypy mohou nauhličovat i oduhličovat a to podle toho, jaký byl použit katalyzátor do směsi a jaká byla ohřívací teplota.

Oduhličování je doprovázeno zajímavým jevem tvoření sloupkovitých krystalů feritu v oduhličené vrstvě (obr. 4)



Obr. č. 4 (100x zvětšeno)

Sloupkovité krystaly feritu vzniklé při oduhličení. Oduhličování oceli probíhalo 50hod. při teplotě 730°C v atmosféře vodíku nasyceného vodní párou.

Známým faktem je, že sloupkovité krystaly rostou v ingotech kolmo na izotermické plochy (= ve směru odvodu tepla) . Nejpriznivější podmínky pro takovýto růst krystalu si lze představit jako růst krystalu ve sloupci tekutého kovu který stojí na podložce s neustálou dotací tekutého kovu na čelo rostoucího krystalu a zároveň s dobrým odvodem tepla. Uskutečnění tohoto modelu v praxi představuje například pochod nazvaný Elder při kontinuálním lití kovových tyčí do chlazené kokily. Očekává se při tomto způsobu lití, že dokud bude tyč vytahována z formy, tak krystaly porostou neustále do délky. Po určité době se však růst krystalů zastaví a začnou vyrůstat nové krystaly na původních krystalech. Nicméně ani příklad kontinuálního lití Elder není úplně přesný (teplo se neodvádí ve směru odlévání tyče, ale kolmo na něj, protože odlévání tyče probíhá do chlazené prstencové kokily „krystalizátoru“ bez dna. Předpoklad asi mnohem lépe splňuje výroba monokrystalů vytahováním z taveniny nebo pásmovým přetahováním ve svislé poloze, díky němuž můžeme vyrábět monokrystaly značné délky.

Docházíme k závěru že krystalizační pochod je značně prostorově omezen, jelikož růst krystalů nemůže přesáhnout určitou mez (Obr. 4). Krystalizaci feritových zrn v ingotech je pouze ovlivněna teplotním spádem, na rozdíl od krystalizace zrn v oduhličeném feritickém povrchu, kde na růst zrn také působí tepelný tok směrem k povrchu a difúze uhlíku proti směru růstu krystalů.

J. A. Webera došel k závěru že nenastává okujení zároveň s oduhličením. Toto tvrzení podkládá těmito třemi důkazy:

- 1) Část povrchu s „normálním“ obsahem uhlíku byla nejdříve okujena
- 2) Okuje do jisté míry chrání ocel
- 3) Rozhodující vliv může mít vodík, jehož přítomnost ve spojení s vodními parami velmi silně oduhličuje

Z. Volf uvádí, že před oduhličováním oceli nastává nejprve okysličování. Pokud je rychlost okysličování pomalejší než rychlost difúze uhlíku, dochází k oduhličení kovu a to pod vrstvou okují. Pokud však je rychlost okysličování rychlejší než rychlost difúze uhlíku, přechází nám oduhličená vrstva ihned v okuje. Když po tom okuje odstraníme, můžeme shledat že povrchová vrstva kovu má téměř shodné chemické složení jako základní materiál. Vzájemný vztah mezi okysličováním a oduhličováním je dán teplotou, dobou, pecní atmosférou a samozřejmě i chemickým složením oceli.

3.2.2. Přehled podmínek vedoucích k oduhličení

- I) W. E. Jominy při svých výzkumech zjistil zajímavý fakt, že průměrná hloubka oduhličení se zmenšuje s rostoucím obsahem kyslíku v pecní atmosféře a také poznatek, že čím je atmosféra redukčnější, tím je oduhličování intenzivnější.
- II) Kysličník uhličitý má velmi nízkou oduhličovací schopnost a to i přes to, že probíhá následující reakce:



Technický kysličník uhličitý však obsahuje také stopy jiných plynů, jako např.: CO, CH₄, H₂ a N₂. Který urychlují oduhličování.

- III) Podle rovnice (12) pokládáme kysličník uhelnatý obvykle za plyn který má nauhličující účinek. Jak uvedl H. W. McQuaid, při vysokých teplotách se kysličník uhelnatý rozkládá při současném vzniku volného uhlíku a takto vzniklá směs plynů rozkladem CO + CO₂ může oduhličovat oceli které mají větší obsah uhlíku. Pokud by jsme chtěli aby směs neoduhličovala, musel by být kysličník uhelnatý přítomen ve větším množství.

Jak uvedl J. A. Weber v závěru své práce, při každé teplotě, při které se provádí tepelné zpracování, je s daným obsahem uhlíku v oceli zároveň v rovnováze přesně daná směs CO + CO₂ a CH₄ + H₂.

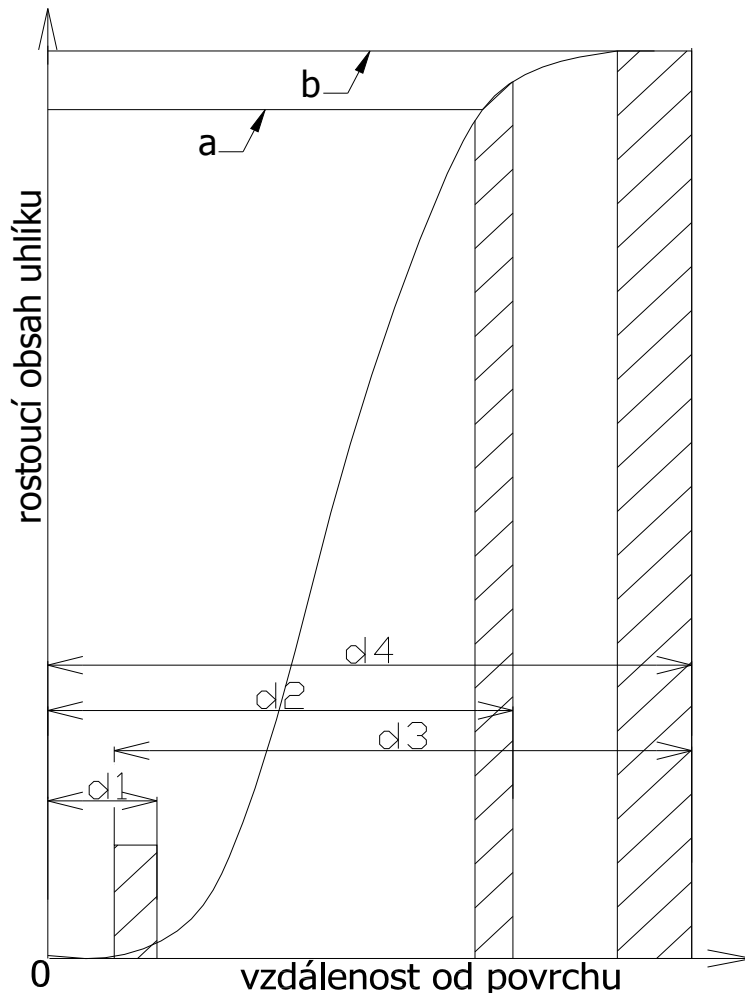
- IV) Jak uvedl W. E. Jominy, suchý vodík je netečný k oceli, ale pokud se v jeho přítomnosti vyskytuje byť jen malé množství vodní páry potom již velmi silně oduhličuje. Za toto „malé množství“ se bere již 0,05% vlhkosti. Nicméně vodík s kriticky velkým množstvím vodní páry (352 mg vodní páry na 1m³ vodíku) již opět neoduhličuje, jak uvedl na základě svých pokusů C.R.Austin

- V) Samotná vodní pára oduhličuje silně, pokud je navíc přítomna v malém množství a ve směsi s jinými plyny, potom oduhličuje velmi silně. Především jde o směs s dusíkem nebo vodíkem.
- VI) Neproázalo se že by kyslík šířičtý způsoboval nauhličení či oduhličení, nicméně je dokázáno že urychluje okujení
- VII) Při normálních kalících teplotách probíhá oduhličování rychleji, pokud se spaluje plyn v pecích tím způsobem, že je pecní atmosféra redukční.
- VIII) Při teplotě 790°C dřevěné uhlí oduhličuje a pokud je přítomna i vodní vlhkost, oduhličování probíhá intenzivněji. Pokud necháme vzorek oceli v zásypu dřevěného uhlí, potom se nám povrch vzorku oduhličí téměř na čistý ferit.
- IX) Bylo prokázáno pomocí pokusů, že přítomnost katalyzátorů (chloridů a uhličitánů) má vliv na rychlost reakce.
- X) A. Hultgren došel k poznatku, že rychlořezná ocel v šamotovém kelímku se oduhličuje po ohřevu v solné lázni chloridu barnatého nebo směsi chloridu draselného s chloridem barnatým. Na povrchu vzorku rychlořezné oceli která byla ponořena do solné lázně ohřáté na 1310°C po dobu 5minut, byla tloušťka feritového pásma 0,03mm a více.

3.2.3. Metody měření oduhličení

Podle normy ČSN EN ISO 3887 můžeme určovat oduhličení těmito způsoby:

- metalografická metoda
- metoda měření mikrotvrdosti HV nebo HK
- metoda stanovení obsahu C chemickým nebo spektrometrickým způsobem



Obr. č. 5 : Hloubky oduhličení dle normy ČSN EN ISO 3887

Legenda:

- d1...úplné oduhličení, měřené ve vzdálenosti od povrchu, ve kterém je stejný obsah C jako u feritických ocelí
- d2...hloubka funkčního oduhličení,
- d3.....částečné oduhličení
- d4.....hloubka celkového oduhličení, $d4 = d1 + d3$
- a.....minimální obsah uhlíku v normě na výrobek
- b.....obsah uhlíku v jádře

3.2.3.1. Metoda metalografická

Používá se tam kde má změna obsahu uhlíku za následek změnu mikrostruktury.

Postup: Výbrus by měl být kolmý k podélné ose vzorku. Strukturu vyvoláme naleptáním v 1,5-4% kyselině dusičné nebo 2-5% kyseliny pikrové. Volba zvětšení při měření oduhličení závisí na hloubce oduhličení a musí být správně zvolena. Většinou je ideální 100x zvětšení. Malé vzorky do 4cm² by se měly potom zkoumat, pokud je to možné, po celé délce obvodu.

Měření oduhličení můžeme zpravidla stanovit pro:

- ferit a perlit: z poklesu množství perlitu
- perlit a nadeutektoidní karbidy: z poklesu množství perlitu a/nebo nadeutektoidních karbidů
- feritickou matici s dispergovanými karbidy: z poklesu množství karbidů ve feritické matici
- případně pro jiné strukturní stavy pokud je oduhličení průkazné

3.2.3.2. Metoda měření mikrotvrdosti

Používá se u podeutektoidních ocelí. Metoda spočívá ve stanovení gradientu mikrotvrdosti kolmo na příčný výbrus pomocí HV či HK. Příprava vzorku je obdobná jako u metody metalografické, nicméně není potřeba vzorek leptat. Měření provádíme pokud možno při co nejvyšším zatížení v rozmezí HV0,1 až HV2,5 (nebo ve vhodném rozmezí dle knopa) a vtisky musí být od sebe vzdálené minimálně 2,5 násobek jejich úhlopříček.

3.2.3.3. Metoda stanovení obsahu uhlíku

Používá se pro výrobky s jednoduchou geometrií a pro vzorky kde oduhličení zasahuje celý povrch. Tato metoda není omezena strukturou oceli. Slouží pro stanovení celkového a funkčního oduhličení. Oduhličení určujeme chemicky či spektrometricky.

3.2.3.3.1. chemický rozbor

Obrábíme za sucha povrch, postupně odebíráme vrstvy o tloušťce 0,1mm, případné oxidické filmy musí být odstraněny předem. Odebrané vrstvy potom podrobujeme chemickým rozborům.

3.2.3.3.1. spektrometrický rozbor

Používá pro vzorky s přiměřenou velikostí a rovnými plochami. Na vzorku provádíme vedle sebe obrušování a přidáváme postupně hloubku obrušování o 0,1mm. Na každém stupni obroušení potom provádíme spektrometrické stanovení uhlíku.

3.2.4. Náchylnost ocelí k oduhličení

- I) Oceli hrubozrnné oduhličují za stejných podmínek do větší hloubky než oceli jemnozrnné, jak uvedli pánové D. H. Rolland C. Upthegrove.
- II) Ve všech plynech a plynových směsích nastává oduhličování, pokud však nejsou karburující (nauhličující). Ani velmi pečlivý zábal do litinových třísek součástí určených na kalení nebo velmi čistý dusík nezabrání oduhličení.
- III) Nebyla zjištěna žádná závislost mezi složením slitinových ocelí s přísadou Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Sn, Cu a stupněm oduhličení v rozmezí teplot 700 – 1000 °C v proudu vodíku.
- IV) Oceli nástrojové s 12% Cr a vysokým obsahem uhlíku, molybden – kobaltové, molybden – vanadové, wolfram – kobaltové, oceli samokalitelné s 5% chromu a některé křemíkové oceli mají velkou náchylnost k oduhličování a proto je dobré při ohřevech určitým způsobem chránit, například ohřevem v ochranných atmosférách, v solných lázních nebo zábalech.

3.2.5. Škodlivé účinky oduhličení

- I) Vliv oduhličení na mez únavy chromo-vanadových a křemíko-manganových pružinových ocelí zkoumali Ford a Hankins, kteří došli k závěru že oduhličení značně snižuje mez únavy, což neplatí jen u chromo-vanadové a křemíko-manganové pružinové ocele, ale i pro řadu dalších ocelí, jak je možné vyčíst z mnoha nezávislých pramenů. Aby výsledky měření byly co nejpřesnější a bez zkreslení vlivem nerovnoměrností povrchu a případných vad, je potřeba aby zkušební tyče byly stejně opracované a vyleštěné.
- II) Při ohřevu austenitické manganové oceli může dojít k částečnému úbytku manganu a povrchovému oduhličení. Důsledkem rozdílného chemického složení nedojde při tváření ke vzniku rovnoměrné martenzitické struktury a při provozu takovéto oceli mohou vznikat na povrchu trhlinky.
- III) Vznik hrubého povrchu označovaného jako pomerančová kůra je důsledek oduhličení hlubokotažné pásové oceli. Pokud k tomuto jevu dojde, není možné takto znehodnocený materiál úspěšně lisovat.

3.2.6 Napravování a zabraňování oduhličení

- I) Pokud chceme zmínit efekt oduhličení při ohřevech, doporučuje se použití solných lázní, ochranných atmosfér a zásypy (zábaly).

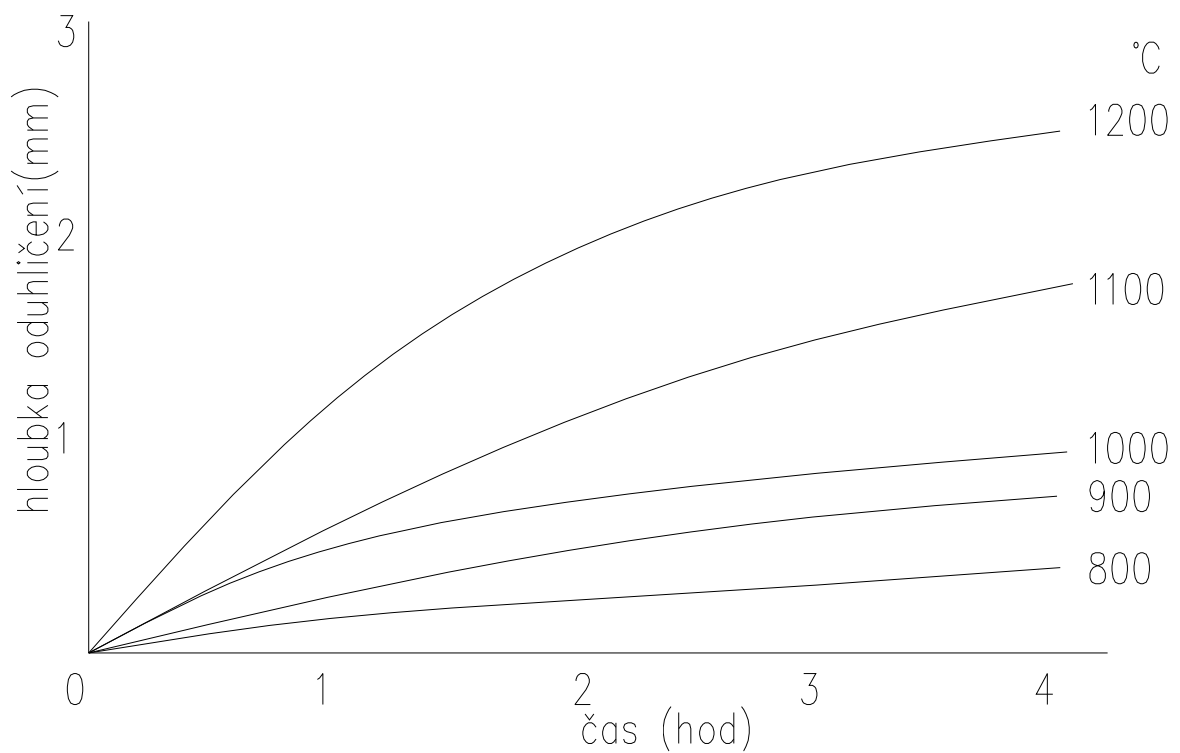
- II) Na získávání ochranných atmosfér je vyvinuto výrobci několik metod. Například atmosféra pro lesklé žíhání dle Austina se vyrábí rozkladem čpavku a vysoušením vznikající směsi dusíku a vodíku. Plyn se přivádí do pece s malým kritickým množstvím vodní páry.

- III) M. H. Mawhinney sepsal opatření vedoucí k omezení oduhličení:
 - a. Teploty pro ohřevy vybírat nejnížší možné a stejně tak i doby ohřevu co nejkratší
 - b. Pro zabránění pronikání vzduchu do pece je potřeba udržovat v peci mírný přetlak
 - c. Palivo pro pece vybírat přednostně to co má nejnížší obsah vodíku
 - d. Poměr vzduchu a paliva nastavit takovým způsobem, abychom dosáhli mírně oxidační spaliny
 - e. Hultgren popsál elektrodovou solnou lázeň na kalení rychlořezné oceli
 - f. Zásypy nebo povlaky používáme hlavně na ochránění austenitické manganové oceli, abychom zabránili oduhličení a úbytku manganu. Na zabránění oduhličení používáme také například ochranné nátěry, které mají jako základní složky borax, kyselinu boritou a chlorid barnatý. Takovéto nátěry používáme především při ohřevu kovů.
 - g. Oduhličená povrchová místa na kterých požadujeme výborné mechanické vlastnosti před samotným kalením obrábíme.

Příklady dopadů oduhličení:

Místní oduhličení na povrchu pružinového drátu může vést při tažení průvlakem k jeho trhání.

Kolejnice na kterých dojde k oduhličení povrchu se při provozu rychleji opotřebovávají a je nutné je častěji vyměňovat.



Obr. č. 6 : Ukázka hloubky oduhličení v závislosti na teplotě a času (ocel 14260)

3.3. Zkoušky měření tvrdosti [5]

Tvrdost je jedna z nejdůležitějších materiálových vlastností. Definice zní: „odpor kladený materiálem proti vnikání cizího tělesa“. Hodnota tvrdosti se uvádí bez jednotek (jednotky které byly zavedené dříve pro měření se dnes již nepoužívají, pokud je však tvrdost odvozena mezi tlakovou silou a plochou vtisku, potom má jednotku MPa. Aby nedošlo však k záměně s hodnotou pro mez pevnosti materiálu, je i v takovýchto případech většinou záměrně udávána bez jednotek. Zkoušky tvrdosti značíme H a rozdělujeme je na odrazové, vrypové, vnikací. Popřípadě je ještě můžeme dělit na statické a dynamické.

3.3.1. Zkouška vrypová

Používá se především pro křehké, nebo naopak velmi tvrdé materiály. Nejznámější vrypová zkouška v této oblasti je zkouška dle Martenze, kterou značíme HMa.

Postup:

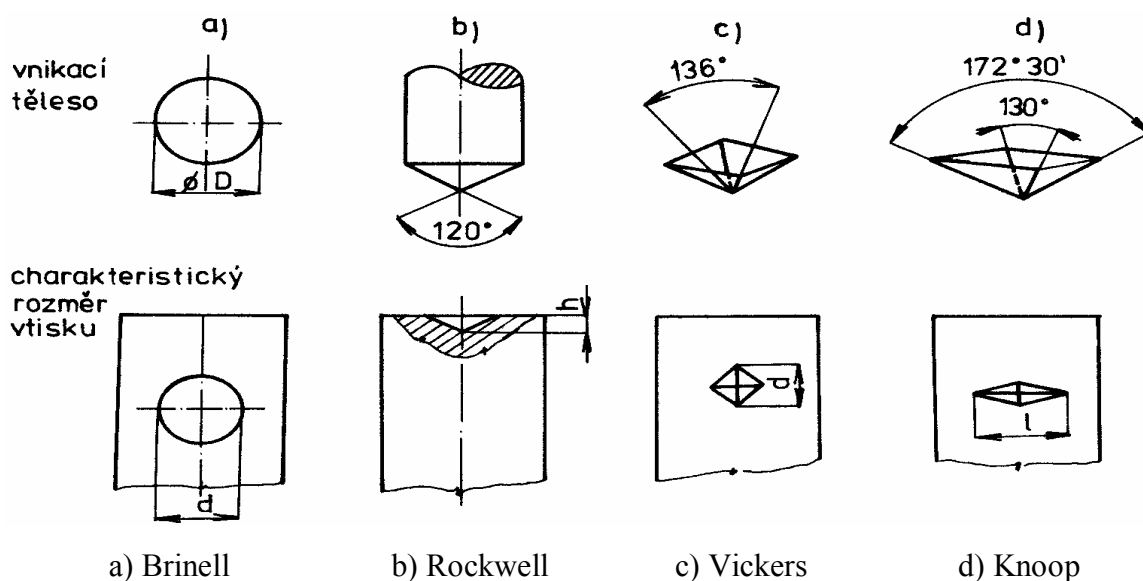
diamantový kužel se pohybuje předepsanou rychlostí po povrchu zkoušeného tělesa. Vrcholový uhel kužele je 90° a tlačí na něj síla která je proměnná.

Hledáme velikost přítláčné síly, která je potřeba ke vzniku vrypu šířky 0,01 mm.

3.3.2. Zkouška vnikací

Jedna z nejpoužívanějších zkoušek měření tvrdosti.

Postup: Vtlačování zkušebního tělesa do zkoušeného materiálu, podle tvaru se rozlišujeme zkoušky na zkoušky dle Brinella, Rockwella, Vickerse a Knoop.



Obr. č. 7 - Tvary vtlačovaných těles

3.3.2.1. Zkouška vnikací - dle Brinella

Postup: Kulička průměru D (D=10mm, 5mm, 2,5mm, 2mm, 1mm) je vtlačována materiálu. Ocelovou kalenou kuličku použijeme do tvrdosti 450 HB, na vyšší tvrdosti potom použijeme kuličku ze slinutých karbidů. Po odlehčení kuličky (doba zatížení pro oceli a litiny je 10 – 15s, u neželezných kovů 180 s) odečteme 2 na sebe kolmé rozměry (průměry d_1 a d_2) a z nich spočítáme aritmetický průměr d .

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (14)$$

d, d_1, d_2 [mm].....průměry vtisku

Následně určíme tvrdost HB (dle Brinella).

$$HB = \frac{0,102F}{A} \quad (15)$$

$$A = \frac{\pi \cdot D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \quad (16)$$

F [N].....zátěžná síla

A [mm²].....plocha vtisku

D [mm].....průměr vtlačované kuličky

3.3.2.2. Zkouška vnikací - dle Rockwella

Postup: Ocelová kulička (průměr 1/16'') nebo diamantový kužel (vrcholový úhel 120°) je nejprve zatížen předběžnou silou F_0 na zkoušeném materiálu a dojde k vyrovnání nerovností povrchu. Následně zvýšíme zátěžnou sílu o sílu F_1 . Po odlehčení síly F_0 můžeme odečíst na hloubkoměru tvrdost v příslušné stupnici.

3.3.2.3. Zkouška vnikací - dle Vickerse

Postup: Silou $F=294N$ zatěžíme diamantový čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136° po předepsanou dobu (10-15 s). Po odlehčení měříme na sebe kolmé úhlopříčky vtisku (u_1 a u_2), z nich spočteme aritmetickým průměrem úhlopříčku u .

$$u = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad (17)$$

Tvrlost HV dle Vickerse spočítáme ze vztahu:

$$HV = 0,189 \frac{F}{u^2} \quad (18)$$

F [N].....zátěžná síla

u [mm].....aritmetický průměr délky vtisklých úhlopříček

3.3.2.4. Zkouška vnikací - dle Knoopa

Postup: sílou F zatěžíme diamantový čtyřboký jehlan (vrcholové úhly 130° a $172^\circ 30'$) .

Následně odlehčíme a měříme delší z úhlopříček l .

Tvrlost HK vypočteme ze vztahu:

$$HK = 1,4509 \cdot \frac{F}{l^2} \quad (19)$$

F [N].....zátěžná síla

l [mm].....délka delší úhlopříčky kosočtverce

3.3.2. Zkouška odrazová

Používaná spíše jako orientační zkouška.

Postup: Závaží spustíme z určité výšky a měříme velikost jeho odraz pomocí přístroje, který se nazývá Shoreho skleroskop. Tvrlost HSh odečítáme přímo na stupnici přístroje.

3.4. Základy nedestruktivního testování materiálů [6]

Nadkritické vady celistvosti nebo struktury bez destruktivního zkoušení můžeme odhalit metodami NDT, za pomoci využití fyzikálních vlastností materiálu. Pro nejznámější NDT metody se používají následující zkratky (vysvětlivky ke zkratkám v klíči této práce): AF, IT, UT, RT, ET, MT, PT, VT, LT

AE. Dá se říct že AE je vlastně pasivní ultrazvuk. Používá se pro zaměření zdrojů akustických vln v konstrukcích za provozu. Obdobně slouží metoda IT pro sledování tepelných zdrojů. Obě tyto metody slouží k diagnostice poruch, funkčnosti dílů a provozuschopnosti strojních celků.

Metodami **RT** a **UT** můžeme zjišťovat vnitřní vady materiálů. UT je levnější ale i výsledky jsou méně názorné, nicméně snadno detekuje plošné vady a prozvučí i několikacentimetrové masy materiálu. RT zobrazuje dobře dutiny (objemové vady), ale špatně trhliny (plošné vady). Velmi vhodné je použití na lehké slitiny a na tloušťky do 200mm.

Zbylé metody se používají většinou k zjišťování případných povrchových vad.

ET je kontrola použitelná pro všechny elektricky vodivé materiály, např.: kovy, grafit, atd. Používá se např. pro automatizované linky, možnost poměrně rychlé a přesné kontroly.

MT obdobně jako ET (hromadné kontroly tyčovin a drátů) se používá metoda rozptylových toků. Asi nejrozšířenější magnetická metoda ve strojírenství je prášková polévací. Testovanou součást po zmagnetizování polijeme flúorescenčním nebo černým feromagnetickým práškem a ten ulpí nad prasklinami, detekce je možná i přes nátěry. Tato metoda se používá často pro kontrolu trhlinek strojních dílů po kalení.

PT umožňuje detekci povrchových vad –trhlin, je však nutné aby trhliny byly spojeny s povrchem. Povrch odmastíme, nanese kapilární látku. Počkáme zhruba 10 minut, následně povrch opláchneme vodou a na povrch nanese tenké vrstvy vývojky, ta vysaje detekční kapalinu z kapilár na povrch a zviditelní tak vady.

VT slouží pro kontrolu povrchu, provádíme buď přímo (očima nebo lupou) nebo nepřímo (boroskopy, fibroskopy)

LT se používá na zjišťování těsnosti potrubí a nádob.

3.4.1. Měření elektromagnetických vlastností materiálu (využití ke strukturoskopii) [5], [8]

Induktivními metodami můžeme kontrolovat chemické složení, tvrdost, magnetismus. Využití ke strukturoskopickému vyhodnocování je založeno na závislostech mezi strukturálním stavem materiálu a jeho magnetickými, případně elektrickými vlastnostmi.

Při měření materiálových elektromagnetických vlastností vycházíme z poznatků:

- Při popouštění a žhání klesá koercivita, remanence a hysterezní ztráty, ale roste permeabilita. Kalení má na tyto vlastnosti opačný vliv.
- Zvyšováním tvrdosti klesá permeabilita, ale rostou koercivní síly, remanence a hysterezní ztráty.

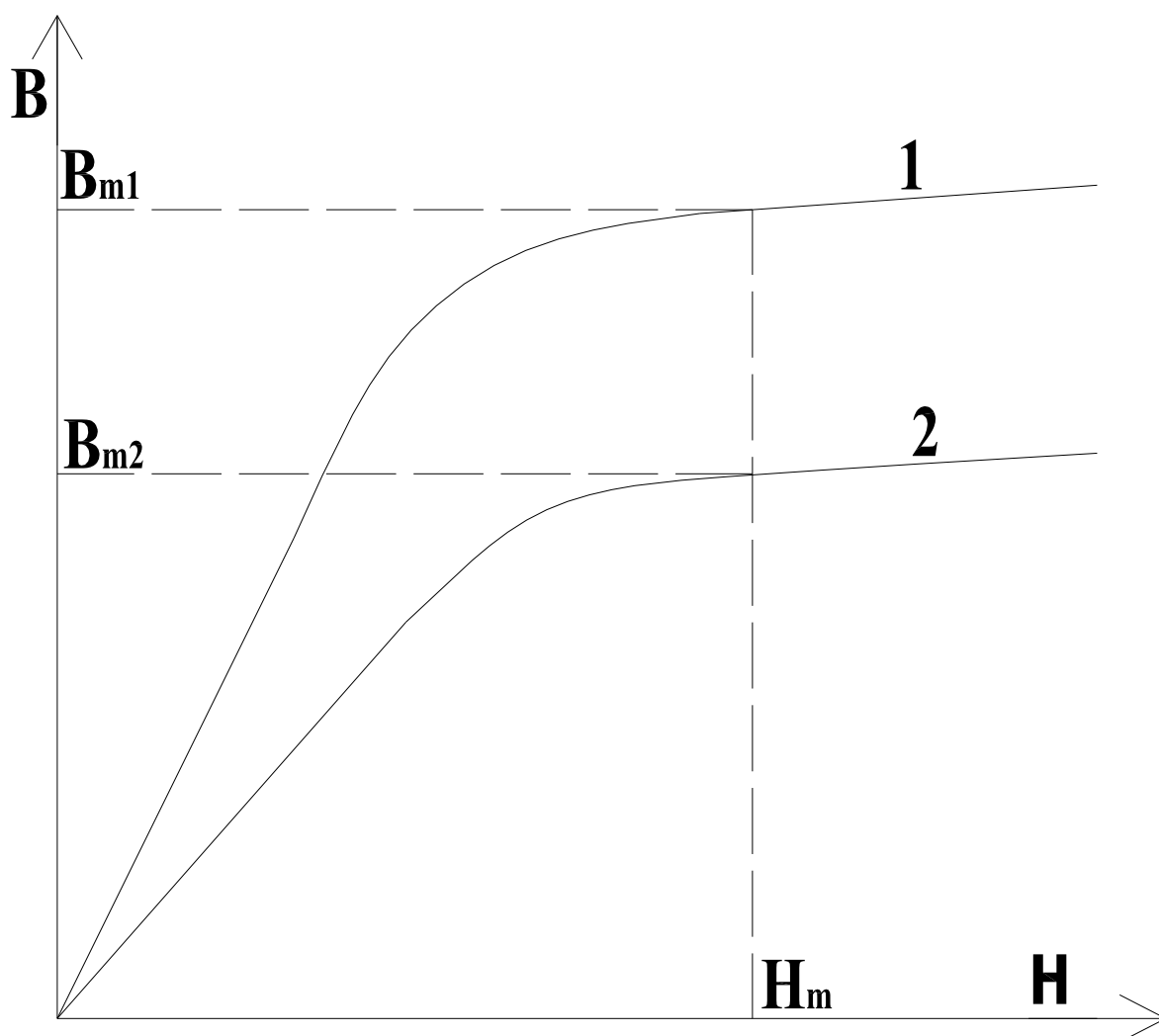
Z těchto poznatků vyplývají 4 základní možnosti využití magnetických sil:

- měření hysterezních ztrát
- měření permeability
- měření koercivity
- měření remanence

V praxi přednostně však využíváme hlavně měření permeability a remanence, hodnoty koercivity jdou z těchto měření potom dopočítat (samotné měření a vyhodnocování koercivity je obtížné). Měření hysterezních ztrát nemá žádné významné využití ve strukturoskopii (zatím).

3.4.1.1. Měření permeability

Permeabilitu měříme přístroji nazývanými permeametry. Pomocí indukčního toku v kontrolovaném předmětu určujeme permeabilitu, hodnotu magnetického pole volíme. Když máme konstantní intenzitu magnetického pole, permeabilita je úměrná zjišťované hodnotě indukčního toku. Odečtená permeabilita je potom efektivní (zdánlivá), a to z důvodu ovlivnění tvarem výrobku.



Obr. č. 8 - princip měření permeability

1 – etalonový vzorek (kalibrační)

2 – kontrolovaný výrobek

H_m - působící magnetické pole

B_{m1} – indukce která vznikla v etalonové vzorku

B_{m2} – indukce která vznikla v kontrolovaném výrobku

3.4.1.1.1. Metoda magnetického adaptivního testování (MAT)

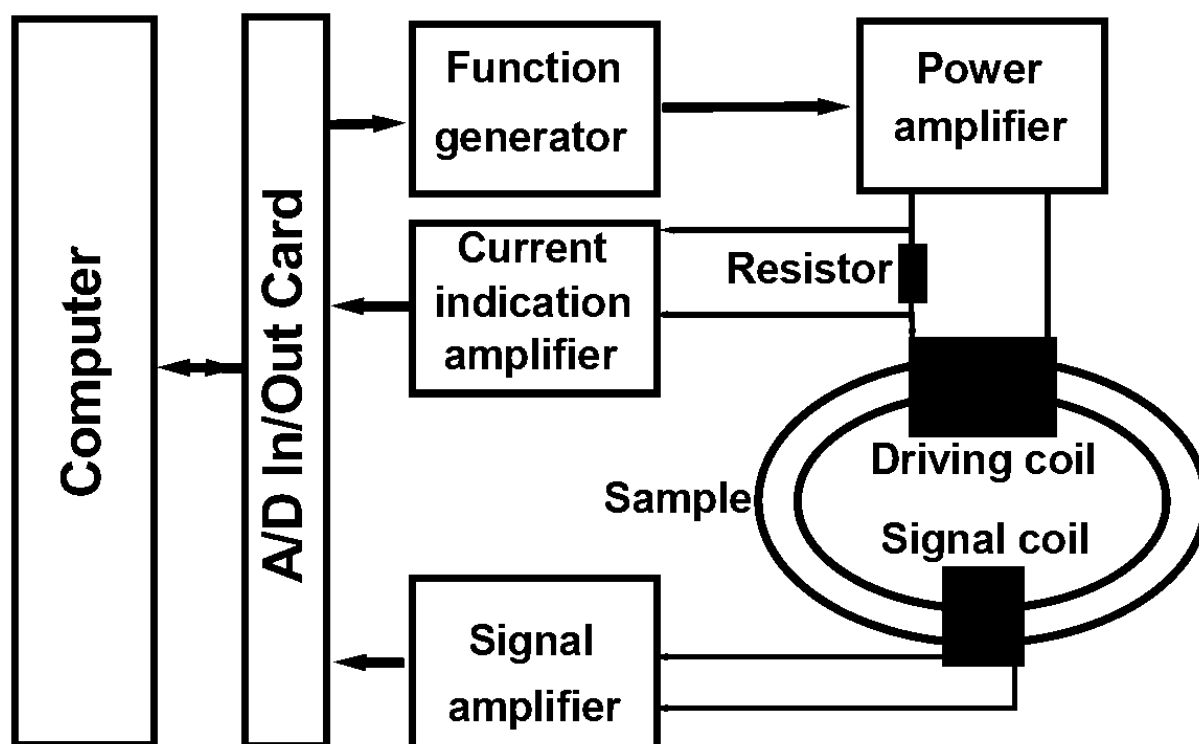
Magnetické adaptivní (přizpůsobivé) testování je NDT metoda využívající magnetickou hysterezi. Metoda je určena k indikaci strukturních modifikací/degradací feromagnetických konstrukčních materiálů. MAT vyhodnocuje materiál z velkého množství změřených dat získaných pomocí elektrického napětí indukovaného v cínce s n vynutím které obklopuje vzorek. Na něm potom dochází k časově proměnnému magnetickému poli F v důsledku magnetické indukce B .

$$F = I \cdot N / L \quad (20)$$

Pole F má průběh pomalého trojúhelníkového střídání elektrického proudu I

Rozkmit magnetizačního proudu se krok za krokem zvětšuje a jestliže je vzorek magneticky zavřený celek (například tenký prsten s obvodem L) a absolutní hodnota rychlosti změn magnetovacího proudu dI/dt je držena stále ve všech trojúhelnících než indukovaný signál v cínce nabudí vzorek sérií pořádných smyček s odlišnou permeabilitou μ , potom platí:

$$u \sim dB/dt \sim \mu * dI/dt \quad (21)$$

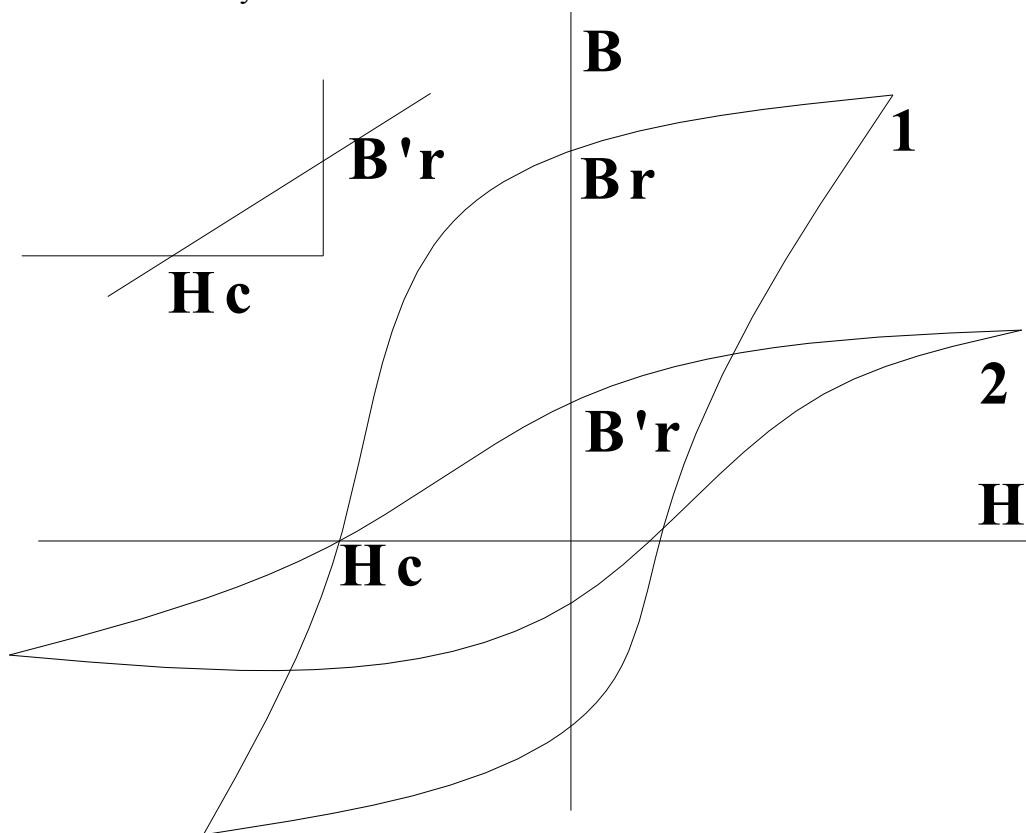


Obr. č. 9 - Metoda magnetického adaptivního testování (MAT)

3.4.1.2. Měření koercivity a remanence

Měření koercivity a remanence je nedestruktivní metoda měření, která se používá pro feromagnetické materiály které jsou tepelně zpracované.

Měření koercivity je obtížné a v praxi nepoužívané. Za určitých podmínek lze však dopočítat pokud známe hodnoty remanence.



Obr. č. 10- princip měření remanence

H_c – koercitivní síla

B_r – zdánlivá remanence

Postup měření vychází z předpokladu, že vzorky které mají délku podobnou jako velikost průměru, mají velmi velkou hodnotu demagnetizačního činitele. To způsobuje snížení strmosti hysterezní smyčky. Tato smyčka potom přechází z původního tvaru 1 na tvar 2 (obr č. 10). Následně ve II. kvadrantu souřadného systému vytváří její část přeponu pravoúhlého trojúhelníka $H_c-B'_r-0$. Pokud dojde ke změně koercivity, změní se i remanence, poměr koercivity a remanence však zůstává pořád stejný. Přepony které takto vznikají jsou naprosto rovnoběžné

Zatímco změření koercivity je dosti obtížné, změření remanence lze provést jednoduše pouze změřením pole okolo zkoušeného vzorku, který tím nejprve zmagnetujeme do nasycení. Následně ze změřených hodnot remanence můžeme dopočítat koercivitu.

3.4.1.2.1. Metoda magnetického bodového pólu

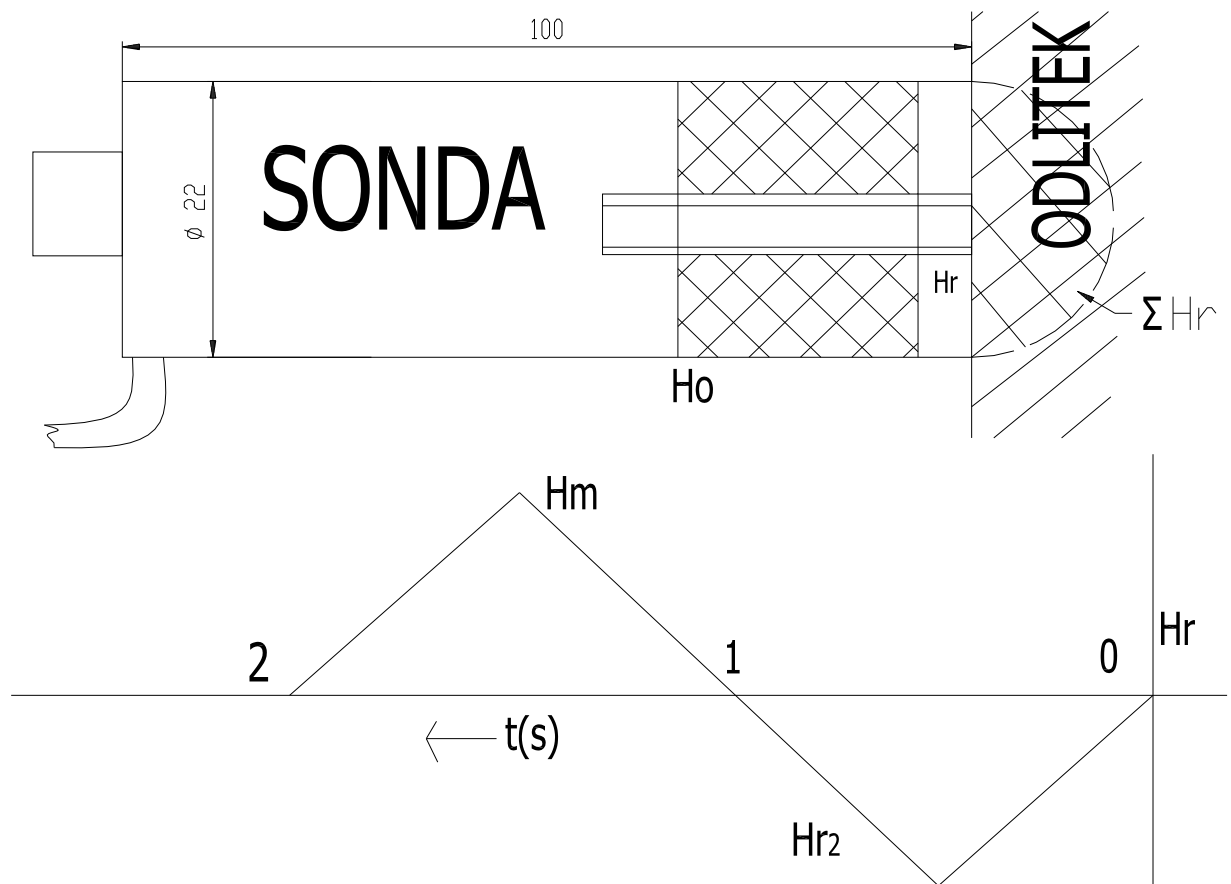
Touto metodou se měří remanence pomocí snímání zbytkového pole sondou. Jedná se o nejmodernější způsob měření magnetických vlastností. Měření se realizuje pomocí metody magnetického bodového pólu. S touto metodou pracují přístroje řady DOMENA. Metoda je poměrně nová a je neustále ve vývoji, zlepšuje se a lze s ní měřit kromě tvrdosti feromagnetických materiálů také hloubku prokalení a pevnost. Měření probíhá velice rychle a umožňuje zjistit tvrdost vzorku i přes povrchovou vrstvu.

Krystalová mřížka Feromagnetických materiálů (materiály jež si udržují své magnetické vlastnosti) obsahuje poruchy (dislokace) a další překážky jako například atomy uhlíku, martenzitu či cementitu. Tyto překážky zabraňují návratu domén do původní orientace (celkově magneticky neutrálního stavu).

Tato metoda slouží k měření tvrdosti a to pomocí přímého vztahu mezi magnetickou a mechanickou tvrdostí v materiálu- magneticky tvrdé složky (lamely perlitického cementitu, martenzitu) jsou zároveň i mechanicky tvrdé. Čelem přiložené sondy tedy měříme ve vzorku zbytkové magnetické pole jehož velikost je přímo závislá na množství disperze perlitu a cementitu.

Princip měření:

- 1) Nejdříve zmagnetizujeme příložnou sondou povrch zkoušeného předmětu.
Magnetická cívka sondy je napájena pomocí trojúhelníkových impulsů opačné polarity.
- 2) Hallův snímač je umístěný v ose cívky na povrchu čela sondy měří intenzitu zbytkového pole.
- 3) Nejdříve změří intenzitu zbytkového pole po předposledním impulsu- ten je kladný. Poslední impuls je záporný, takže intenzita zbytkového pole se opět změní. Rozdíl mezi kladnou a zápornou hodnotou intenzity zbytkového pole se ukáže na displeji přístroje. Měření je lehce opakovatelné a rychlé (cca 3sek). Tímto způsobem měření se navíc eliminuje nepříznivý vliv rušivých polí.



Obr. č. 11 - příložná sonda

4. Experimentální část

Postup experimentu:

	Základní sada tyček (ZST)	Sada pro metalografii (SPM)
1) a)	v peci ohřev na VTO a výdrž 10 minut, následně ochlazování v peci na 500°C za přístupu vzduchu štěrbinou pece, pak vyndání vzorků	Společné TZ s ZST
b)	Vzorky vážené na 3desetiny gramu, následně předány FzUAVČR RNDr I. Tomášovi k MAT	Určení intenzity zbytkového pole, potom odříznuto 5 mm z každé tyčky, provedení výbrusů, označení, měření průběhu tvrdosti, tvrdosti jádra, hloubek oduhličení d1, d2 a určení mikrostruktury
2) a)	Vyzvednutí sady vzorků z FzU měření hmotnosti na 3 desetiny gramu	
b)	Exponování tyček ve stejném režimu ohřevu a ochlazování jako bod 1a, ale čas 20 minut (20+10=30min)	Zbytek ořízlé sady exponován dále společně ze ZST
c)	Vzorky vážené na 3desetiny gramu, následně předány FzUAVČR RNDr I. Tomášovi k MAT	Určení intenzity zbytkového pole, potom odříznuto 5 mm z každé tyčky, provedení výbrusů, označení, měření tvrdosti jádra, hloubek oduhličení d1, d2 a na vybraných vzorcích měření průběhu tvrdosti
3) a)	Vyzvednutí sady vzorků z FzU měření hmotnosti na 3 desetiny gramu	
b)	Exponování tyček ve stejném režimu ohřevu a ochlazování jako bod 1a, ale čas 60 minut (60+20+10=90min)	Zbytek ořízlé sady exponován dále společně ze ZST
c)	Vzorky vážené na 3desetiny gramu, následně předány FzUAVČR RNDr I. Tomášovi k MAT	Stejně jako bod 2c

Volené teploty oduhličování VTO: VTO1= 850°, VTO2= 950°C, VTO3= 1050°C

Intervaly oduhličování všech teplot IOT: IOT1=10min, IOT2=30min, IOT3=90min

Celkem bylo 57 vzorků (tyčky 4x4 – 100 mm), nicméně měření jsem prováděl na vzorcích které obsahovaly obě dvě sady vzorků POLDI které mě byly zapůjčeny. Konkrétně šlo tedy o 48 vzorků. Celkový přehled chemického složení a naměřených hodnot je příloze.

Pro účely této diplomové práce byly pak vybrány 2 vzorky z každé teplotní skupiny (celkem 3 teplotní skupiny) a na nich jsem sestavoval závislosti a vyslovil závěry.

4.1. Chemické složení vzorků, změřené vlastnosti

Přehled zvolených zástupců ocelí:

14260 ...pružinová ocel, nízkolegovaná ocel, chromová ocel

19132 ...nástrojová uhlíková ocel

19662 ...nástrojová slitinová ocel

17115 ...vysokochromová ocel

19800 ...rychlořezná ocel

19191 ...nástrojová uhlíková ocel

Tab. č. 1 – Chemické složení vzorků (obsahy v %, u P a S je uveden maximální obsah)

ČSN	M.Č.	POLDI	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo	W	P	S
14260	25	SCH	0,50-0,60	0,50-0,80	1,3-1,6	0,50-0,70					0,035	0,035
19132	33	6	0,60-0,75	0,40	0,35						0,04	0,035
19662	9	TBM1	0,55	0,7	-	0,7	1,7	0,17	0,22	-	-	-
17115	24	702D	0,40-0,50	0,20-0,60	2,8-3,5	7,5-9,5					0,035	0,035
19800	8	MAX SP. G	0,75-0,85	0,5	0,5	3,5-4,5	1,5-2,2	1,65		8-9,5	0,04	0,04
19191	29	EZH	0,95-1,8	0,20-0,35	0,30						0,03	0,03

Tab. č. 2 – hmotnostní změny po tepelném zpracování

hmotnosti v gramech – m(g)						
M.Č.	PTZ	10o	10n	30o	30n	90o
25	11,011	11,048	10,949	10,975	10,894	10,941
33	11,119	11,184	11,010	11,038	10,888	11,000
9	11,450	11,561	11,426	11,509	11,354	11,564
24	10,750	10,775	10,754	10,757	10,735	10,742
8	11,550	11,711	11,480	11,600	11,424	11,707
29	10,850	11,035	10,843	10,936	10,987	11,049

Tab. č. 3 - intenzity zbytkového pole (měřeno Domenou B3.b, 2x na stejném místě)

průměry M4 (A/m)				
M.Č.	PTZ	10o	30o	90o
25	966	606	568	443
33	936	546	546	465
9	684	813	822	813
24	931	546	482	415
8	1352	1435	994	714
29	1067	519	349	245

Tab. č. 4 - tvrdost HV jádro(zatíženo 5kg, cca 20sek, střed průřezu, tvrdoměr Zwick 3212)

M.Č.	PTZ	10min	30min.	90min
25	233	225	232	215
33	240	197	202	199
9	213	470	650	652
24	315	295	265	257
8	263	510	400	347
29	270	270	218	165

Tab. č. 5 - Oduhličení

M.Č.	určeno odměřováním z výbrusu						určeno z grad. tvrdosti		
	Oduhlič. d1 (μm)			Oduhlič. d2 (μm)			Oduhlič. d2 (μm)		
	10min	30min	90min	10min	30min	90min	10min	30min	90min
25	-	19	21	-	-	250	120	250	300
33	60	-	-	-	60	200	35	100	200
9	25	60	120	167	-	-	150	700	800
24	-	30	-	-	-	-	50	110	400
8	30	176	341	189	360	-	175	400	480
29	55	-	-	380	350	421	350	400	600

Vysvětlivky:

M.Č....moje číslo

PTZ...vzorky bez tepelného zpracování (výchozí)

10min,30min,90min... vzorky po 10, 30 a 90 minutách žíhání

10o,30o,90o ... vzorky po 10, 30 a 90 minutách žíhání s okujemi

10n,30n... vzorky po 10 a 30 minutách žíhání po odokujení

Mxxx...magnetismus M4 vybrané skupiny

mxxx...hmotnost vybrané skupiny

Žíhací časy 30 a 90 jsou simultánní. Ve skutečnost byly provedeny 3 žíhací časy 10min., 20min., 60min. pro každou teplotní skupinu a měření pro časy 30 a 90 jsou prováděny formou součtu (10+20 a 10+20+60).

4.2. Teplotní průběhy TP

4.2.1. TP pro 1a

Vzorky vloženy do pece při dosažení VTO, a od tohoto okamžiku se měřilo IOT1 potom vypnutí pece, vzorky však vyndány až při dosažení poklesu na 600°C.

Při vkládání vzorků do pece docházelo k určitým teplotním výkyvům které zde popisují.

Tab. č. 6

850°C	
čas (min)	°C
0,2	820
0,75	800
1,5	780
5	850
5,7	860
20	810
85	600

.. Otevření pece

Tab. č. 7

950°C	
čas (min)	°C
2	864
2,8	861
4,5	885
5	900
6	913
7	930
9	952
13,5	940
16,5	920
20	900
22	888
23	885
25	875
28	860
105	600

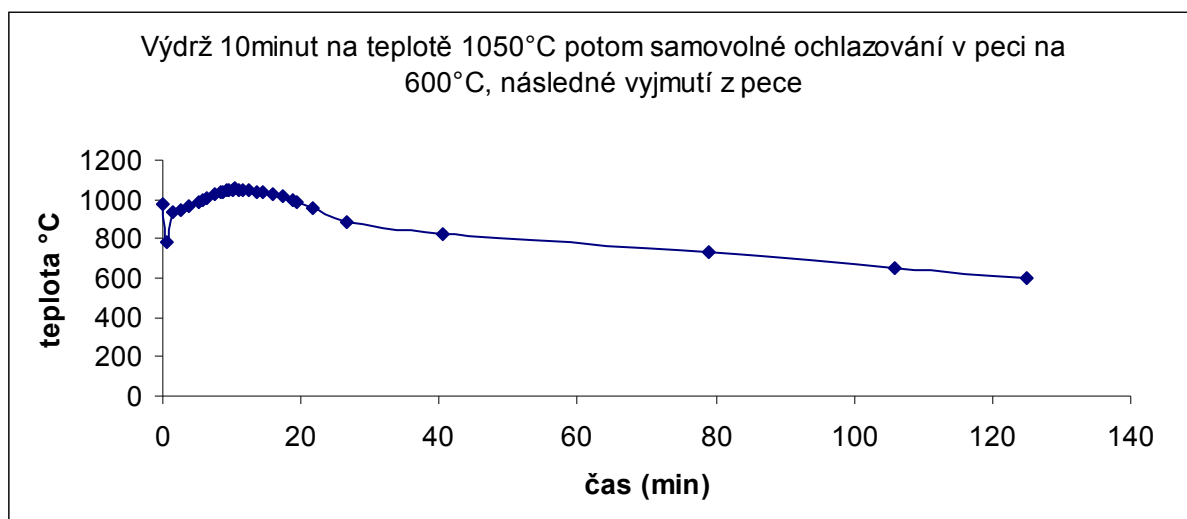
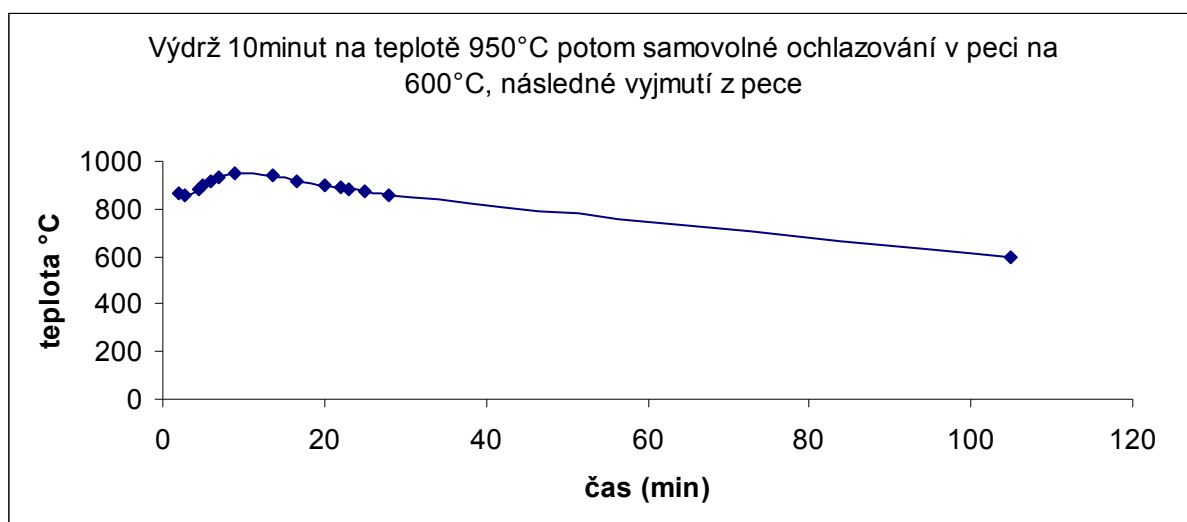
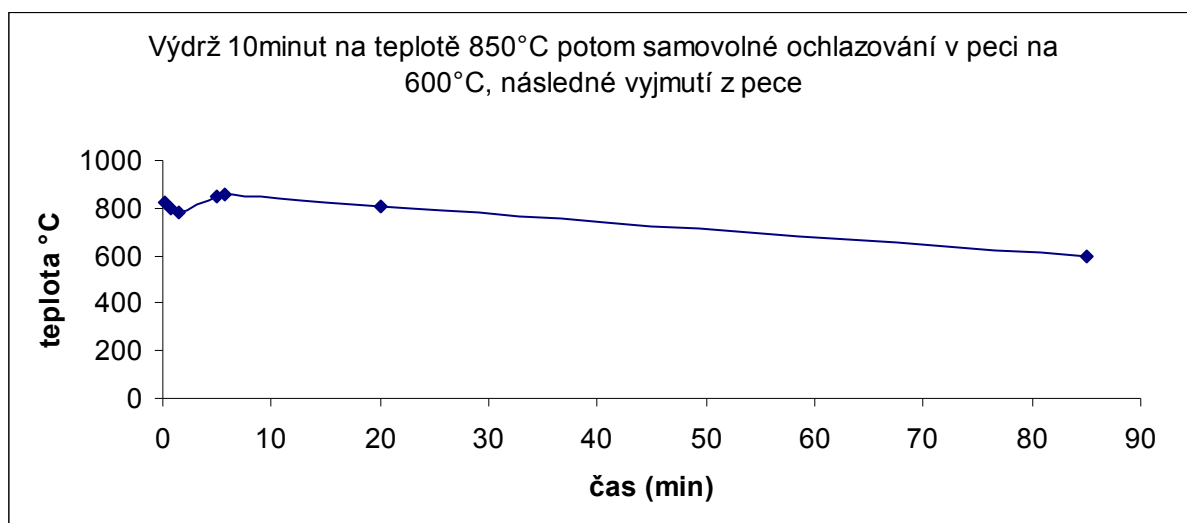
.. Otevření pece

Tab. č. 8

1050°C	
čas (min)	°C
0,5	750
1,45	940
2,5	950
3,75	969
5,25	990
5,75	1000
6,5	1010
7,5	1025
8,25	1035
8,75	1040
9,2	1045
9,5	1050
10	1052
10,5	1053
11	1052
11,7	1050
12,5	1046
13,5	1040
14,5	1033
15,85	1025
17,25	1015
18,75	1000
19,5	985
21,75	957
26,7	885
40,5	827
78,95	734
106	655
125	600

.. Otevření pece

Graf č. 1, 2, 3



4.2.2. TP pro 2b

Vzorky vloženy do pece při dosažení VTO, a od tohoto okamžiku se měřilo IOT2 potom vypnutí pece, vzorky však vyndány až při dosažení poklesu na 600°C.

Při vkládání vzorků do pece docházelo k určitým teplotním výkyvům které zde popisují.

Tab. č. 9

850°C	
čas (min)	°C
0,17	800
0,5	792
0,75	788
1	778
1,5	771
2,5	771
2,75	772
3,5	781
4,25	790
5	799
5,75	811
6,25	818
7	830
7,5	840
8	850
9,5	861
10	862
12	858
13,5	851
14	850
16	845
17	850
20	850
21	854
22	845
23,5	837
25	830
26	825
27	820
29	814
40	772
45	755
50	738
56	720
84	645
96	612
100	600

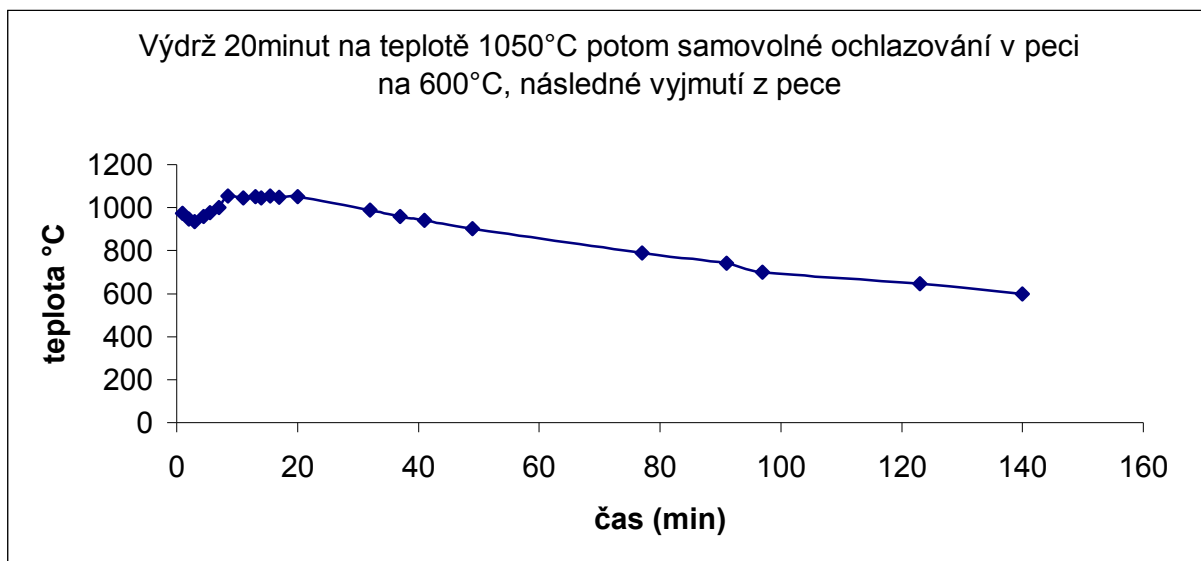
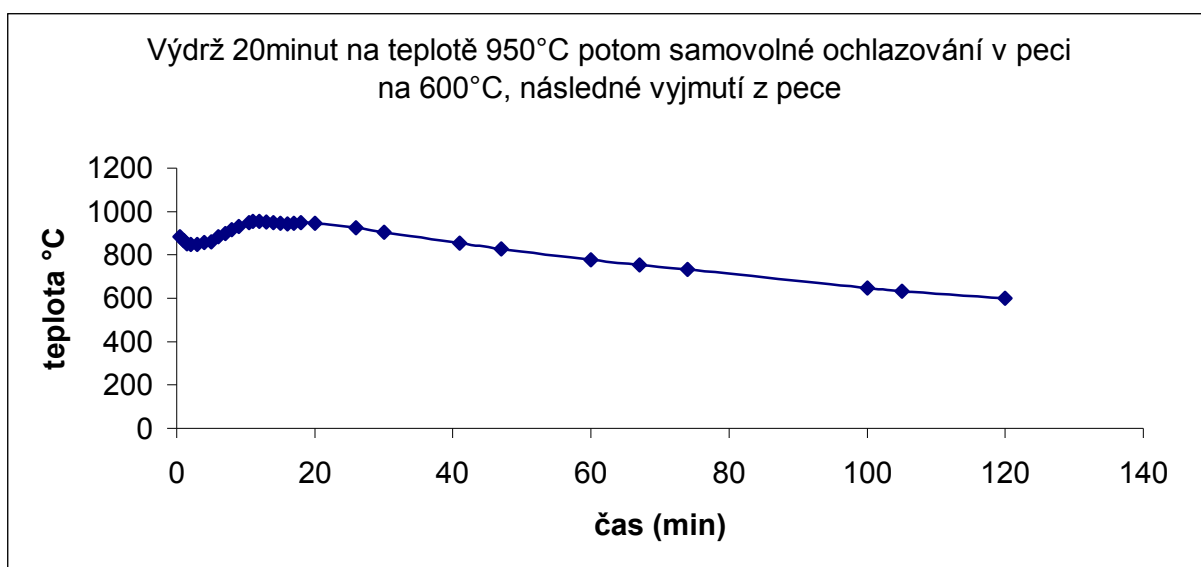
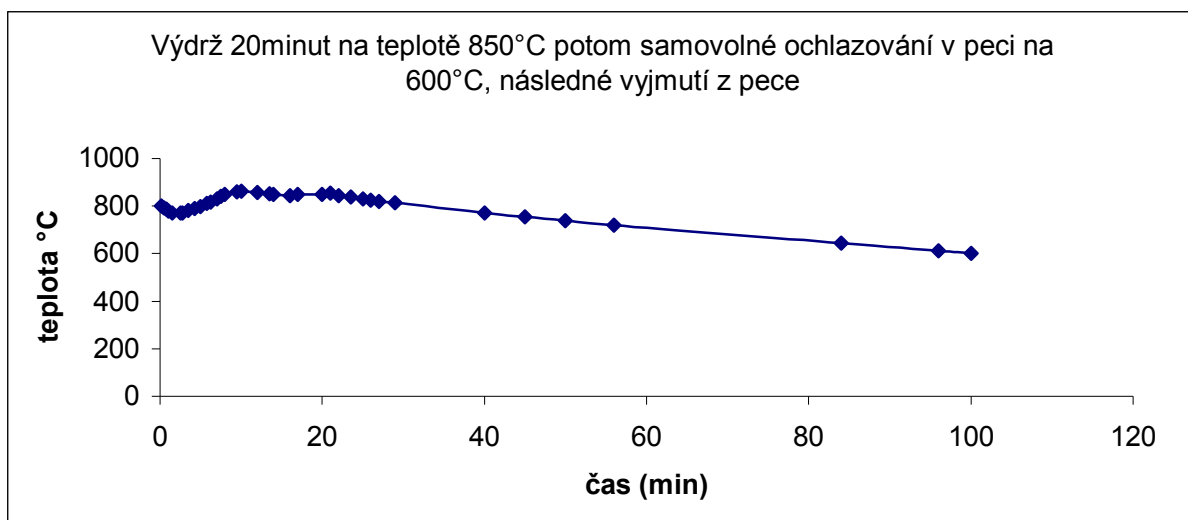
Tab. č. 10

950°C	
čas (min)	°C
0,5	883
1	865
1,5	850
2	847
3	847
4	856
5	859
6	885
7	900
8	915
9	930
10,5	950
11	955
12	956
13	953
14	949
15	945
16	944
17	947
18	950
20	947
26	925
30	905
41	854
47	828
60	778
67	754
74	732
100	646
105	632
120	600

Tab. č. 11

1050°C	
čas (min)	°C
1	975
2	946
3	936
4,5	960
5,5	976
7	1000
8,5	1055
11	1045
13	1051
14	1046
15,5	1055
17	1048
20	1050
32	990
37	960
41	940
49	902
77	790
91	742
97	700
123	647
140	600

Graf č. 4, 5, 6



4.2.3. TP pro 3b

Vzorky vloženy do pece při dosažení VTO, a od tohoto okamžiku se měřilo IOT3 potom vypnutí pece, vzorky však vyndány až při dosažení poklesu na 600°C.

Při vkládání vzorků do pece docházelo k určitým teplotním výkyvům které zde popisují.

Tab. č. 12

850°C	
čas (minuty)	teplota (°C)
1	797
2	778
3	779
4	795
6	819
7	834
8	852
10	861
12	855
14	847
16	846
18	852
21	850
60	850
61	850
62	848
64	842
66	833
69	818
74	801
78	781
81	767
100	703
127	630
140	600

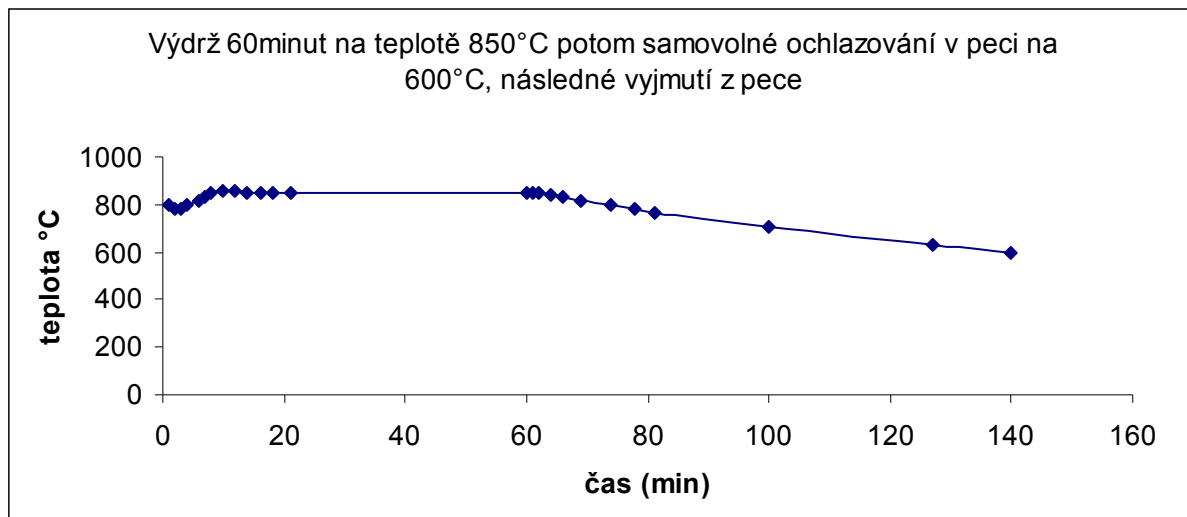
Tab. č. 13

950°C	
čas (minuty)	teplota (°C)
0,35	906
1	875
2	864
3	871
4	881
5	895
6	908
7	920
8	933
9	950
60	950
61	945
62	942
63	938
64	933
65	922
66	916
67	910
69	898
71	887
75	870
77	860
80	847
81	840
85	824
97	777
116	711
142	640
160	600

Tab. č. 14

1050°C	
čas (minuty)	teplota (°C)
1	962
2	934
3	936
4	946
5	960
6	987
7	997
9	1030
10	1049
60	1050
62	1045
64	1033
66	1024
68	1008
70	999
72	986
110	815
146	686
158	657
167	625
180	600

Graf č. 7, 8, 9



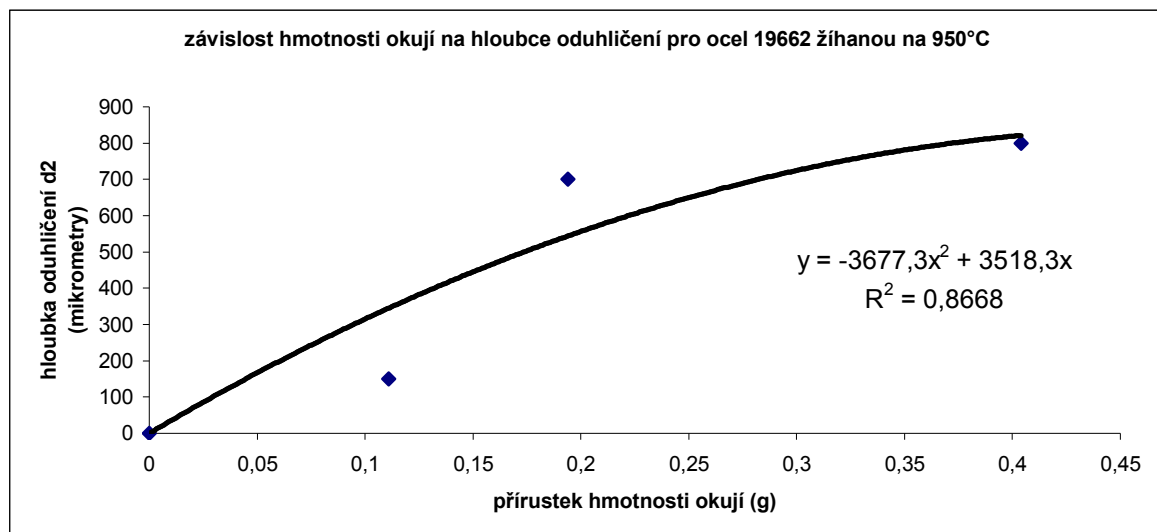
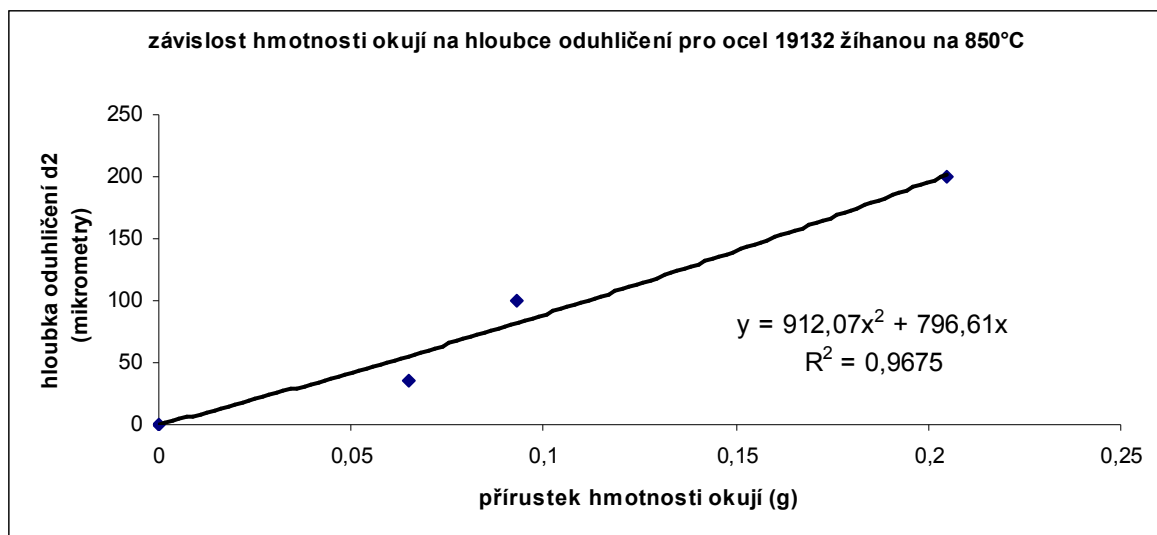
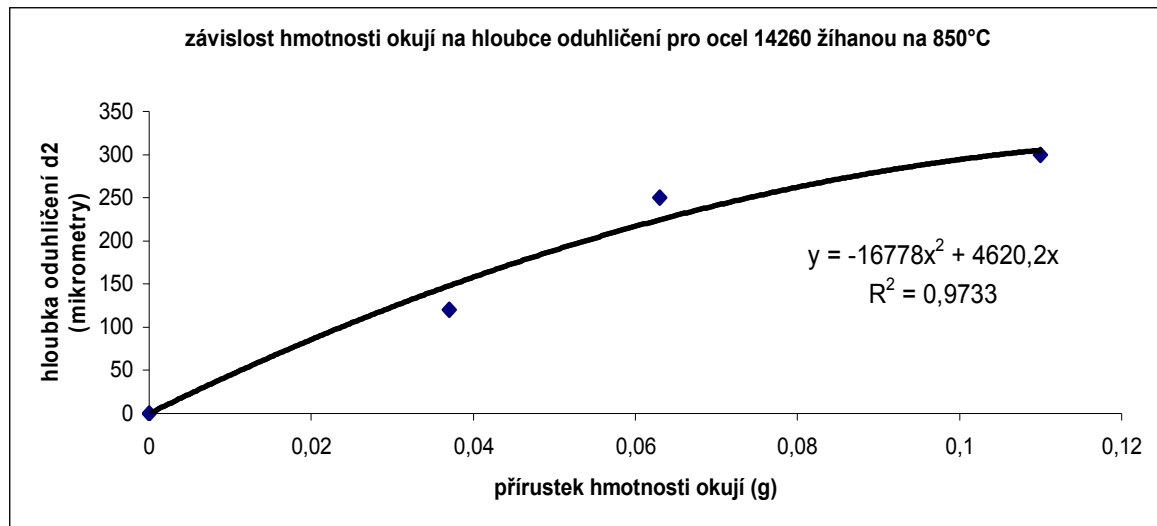
4.3.1. Závislosti hmotnosti okují na hloubce oduhličení d2

Použité vzorce x-ových souřadnic:

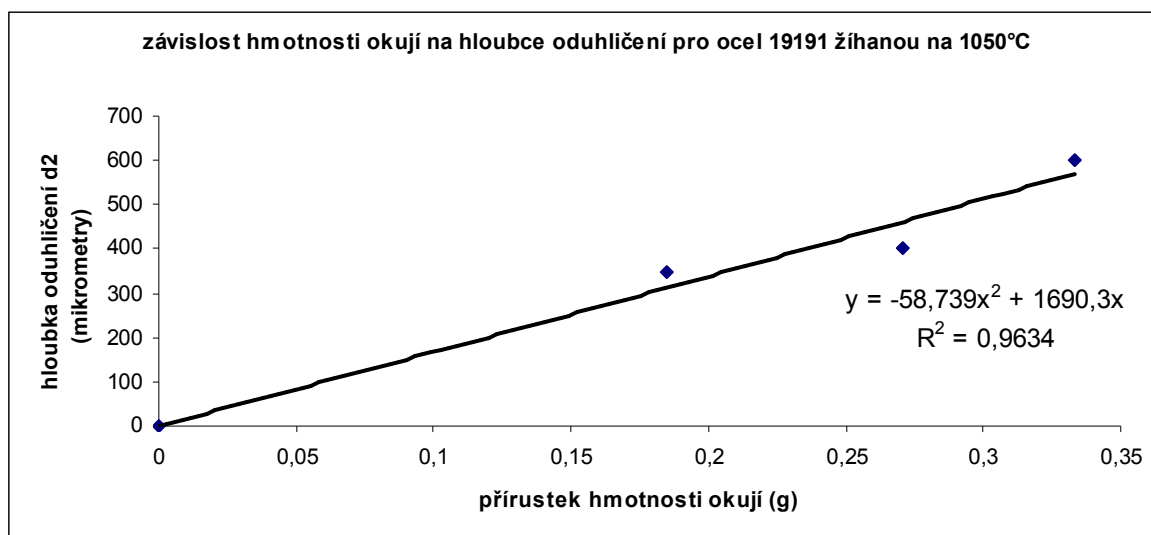
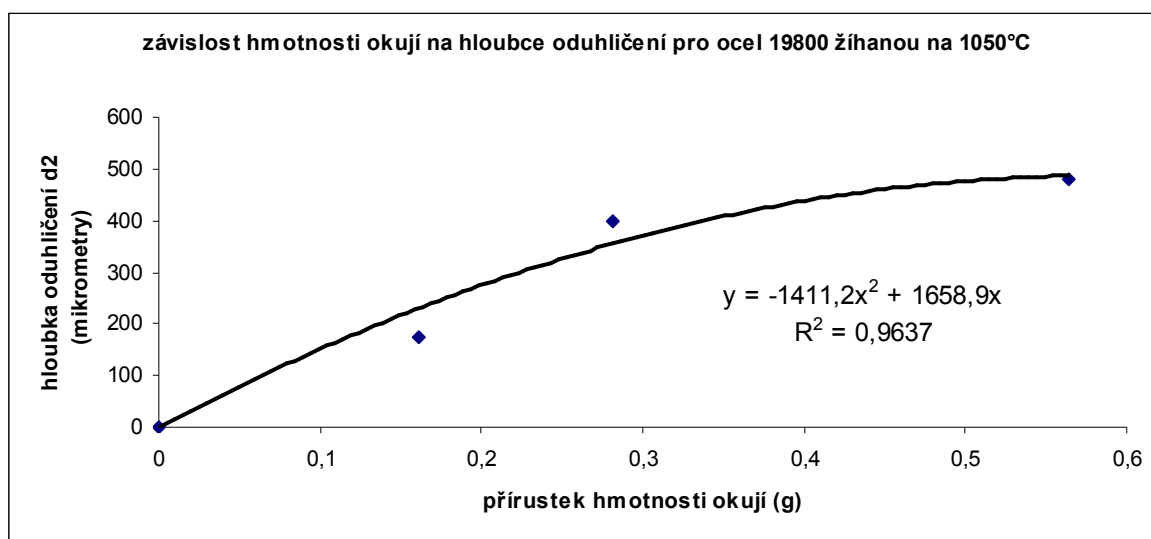
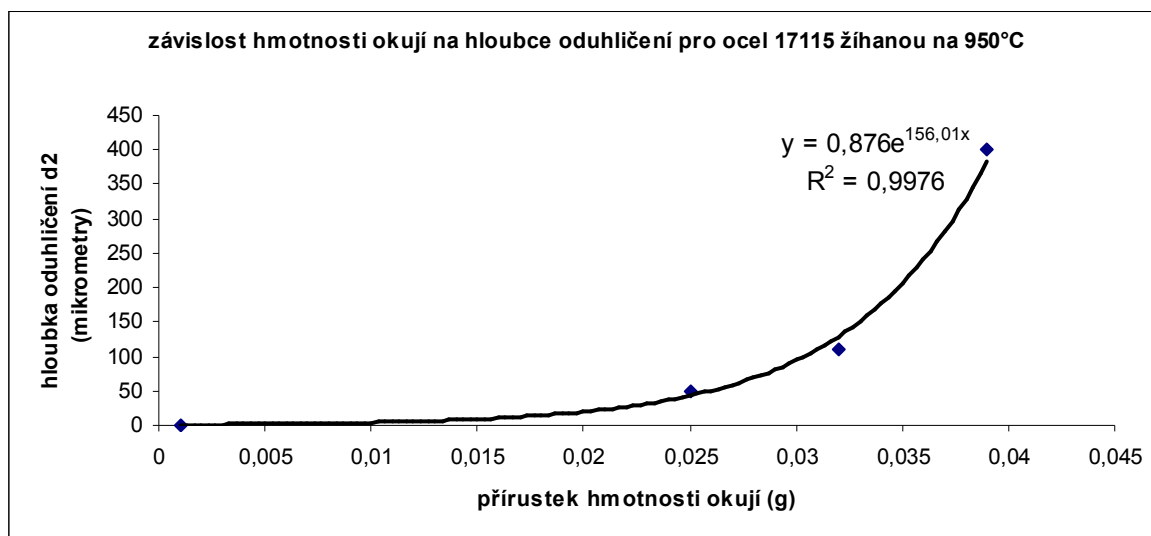
bod0=0, bod1=(m10o-mPTZ), bod2=(m10o-mPTZ)+(m30o-m10n)

bod3=(m10o-mPTZ)+(m30o-m10n)+(m90o-m30n)

Graf č. 10, 11, 12



Graf č. 13, 14, 15

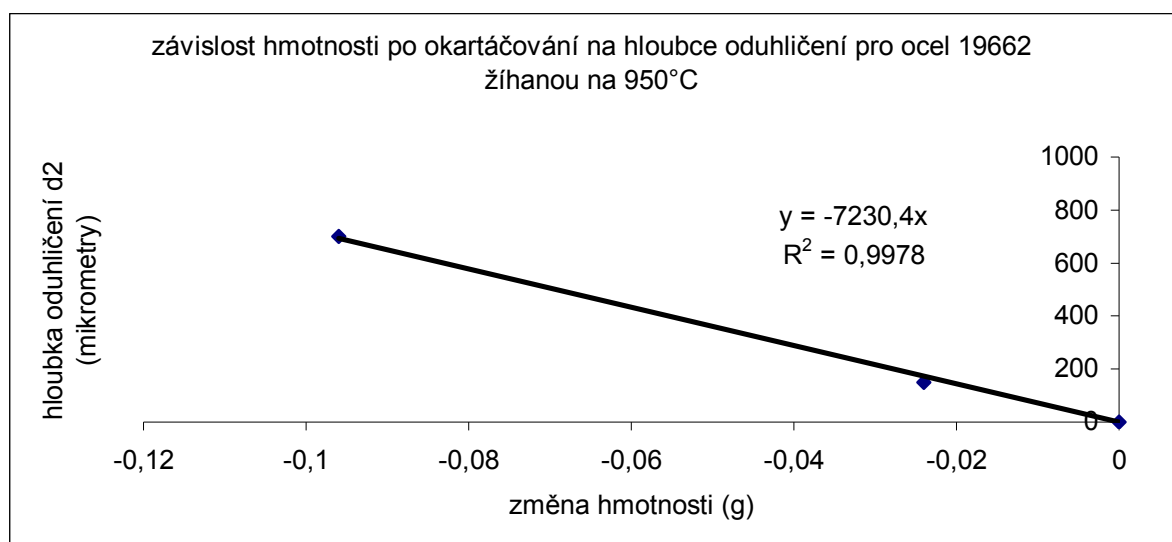
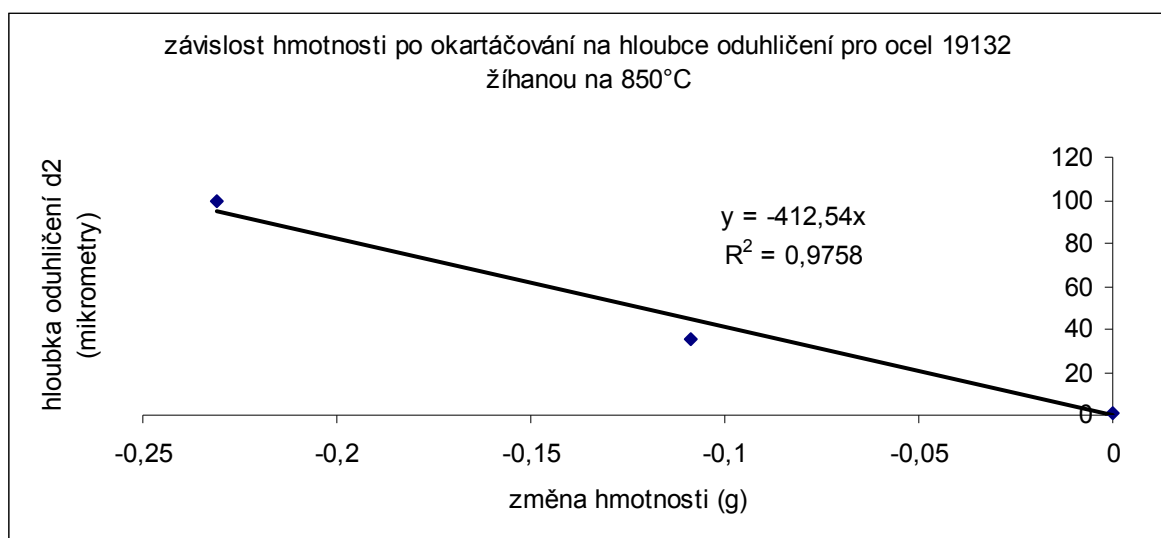
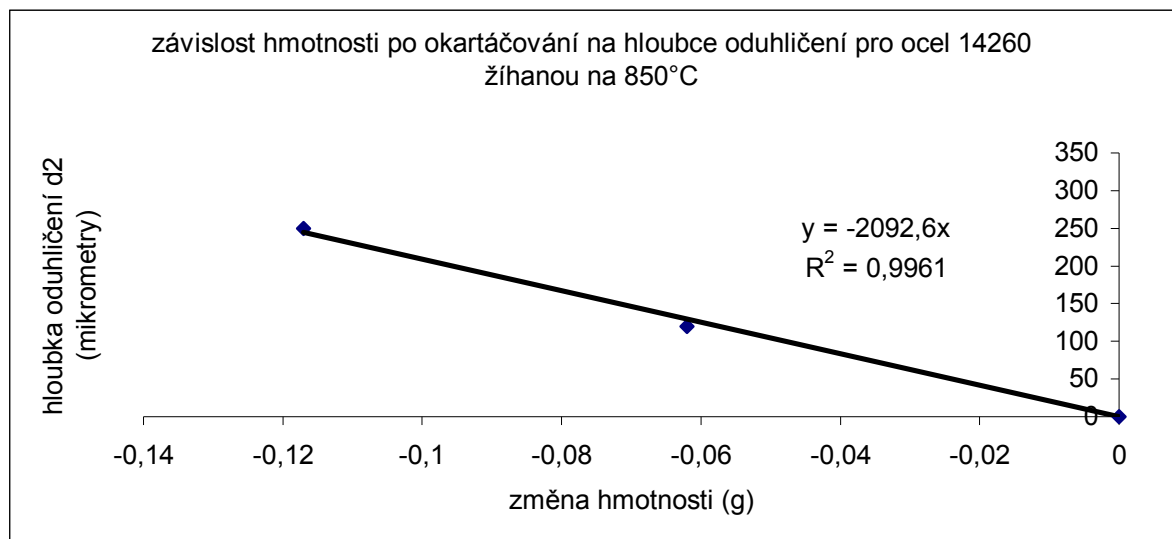


4.3.2. Závislosti hmotnosti vzorků po okartáčování na hloubce oduhličení d2

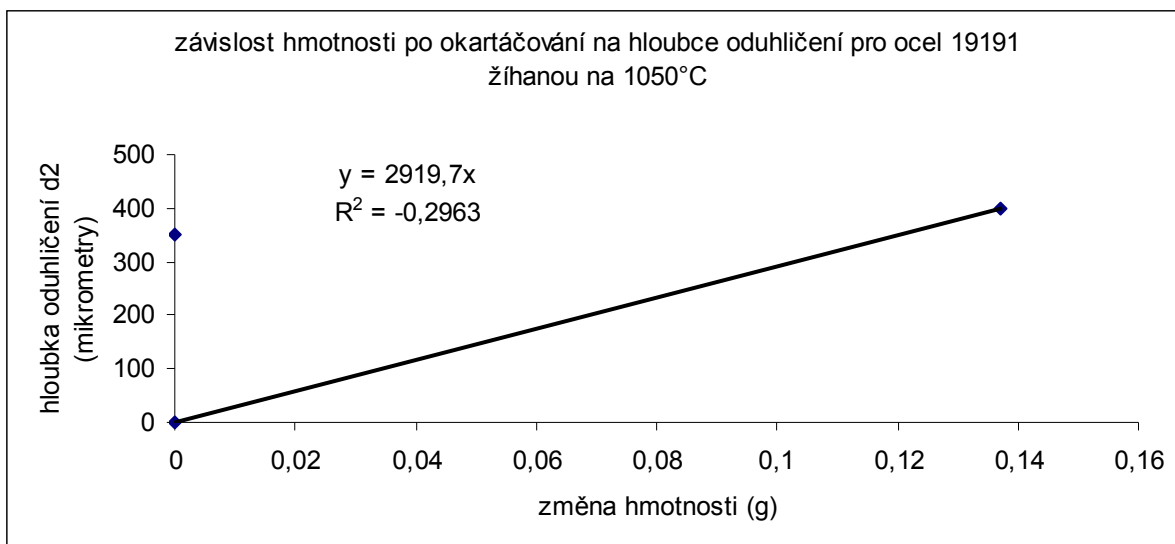
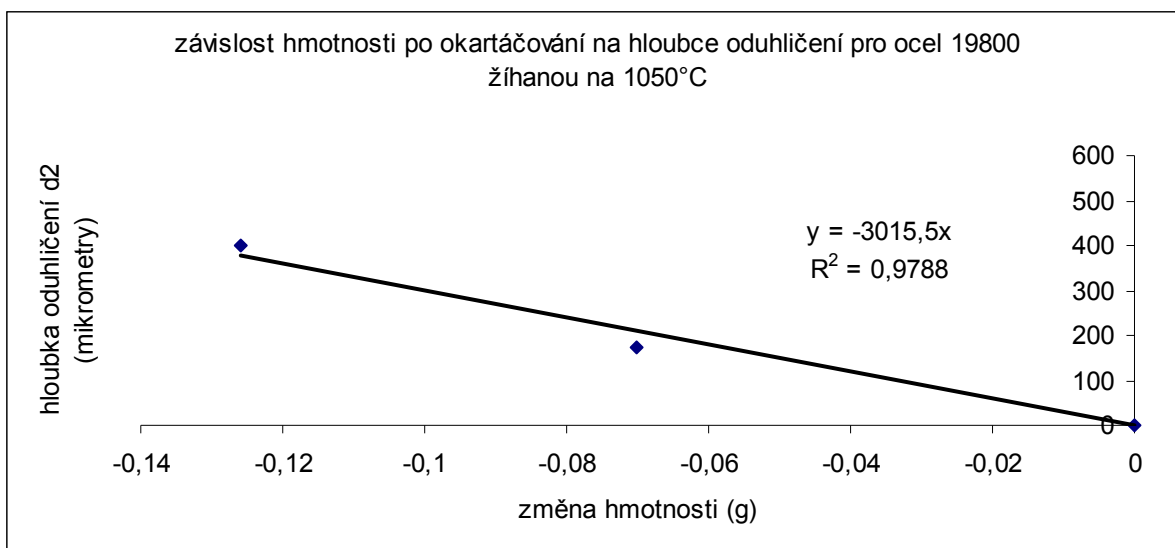
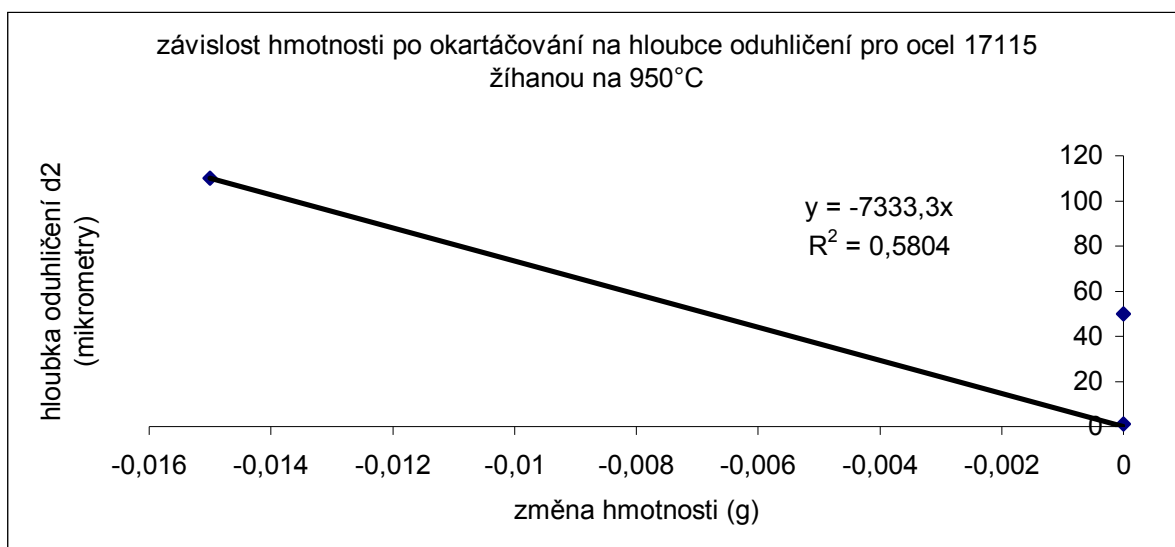
Použité vzorce x-ových souřadnic:

bod0=0, bod1= m10n-mPTZ, bod2= m30n-mPTZ

Graf č. 16, 17, 18



Graf č. 19, 20, 21

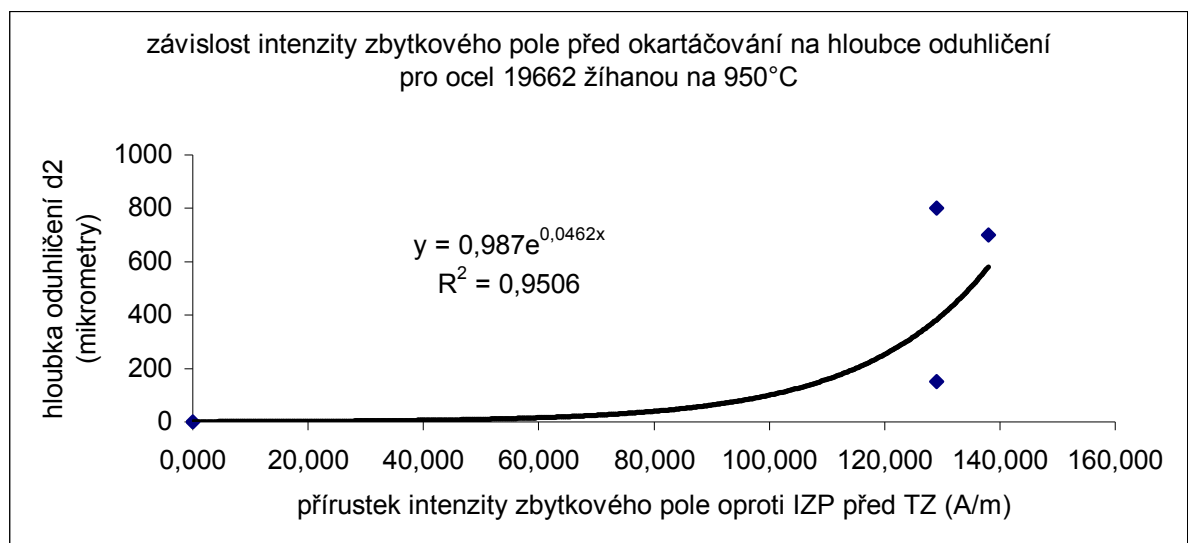
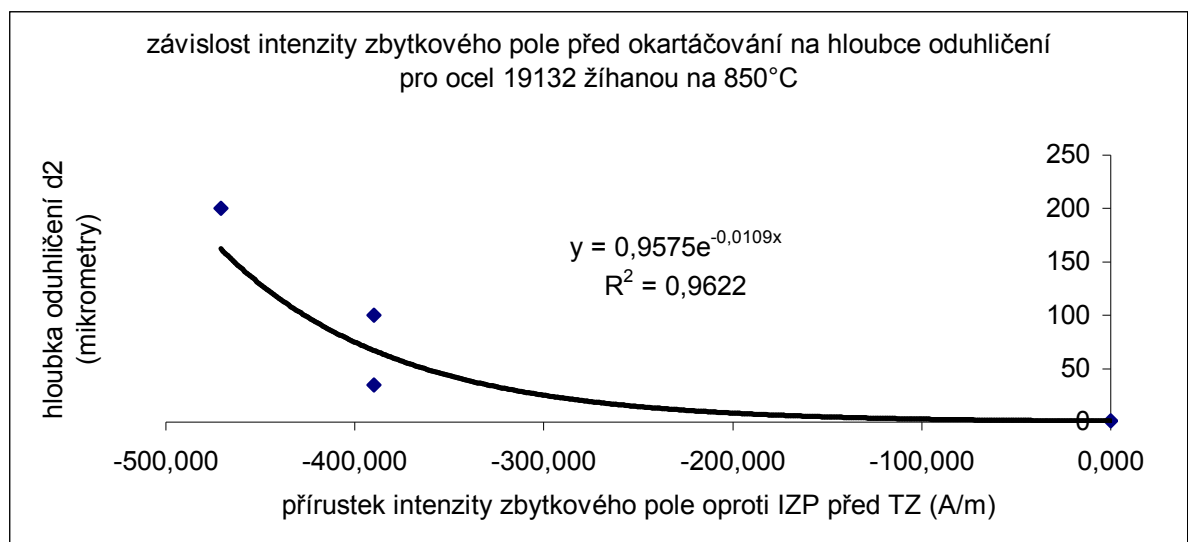
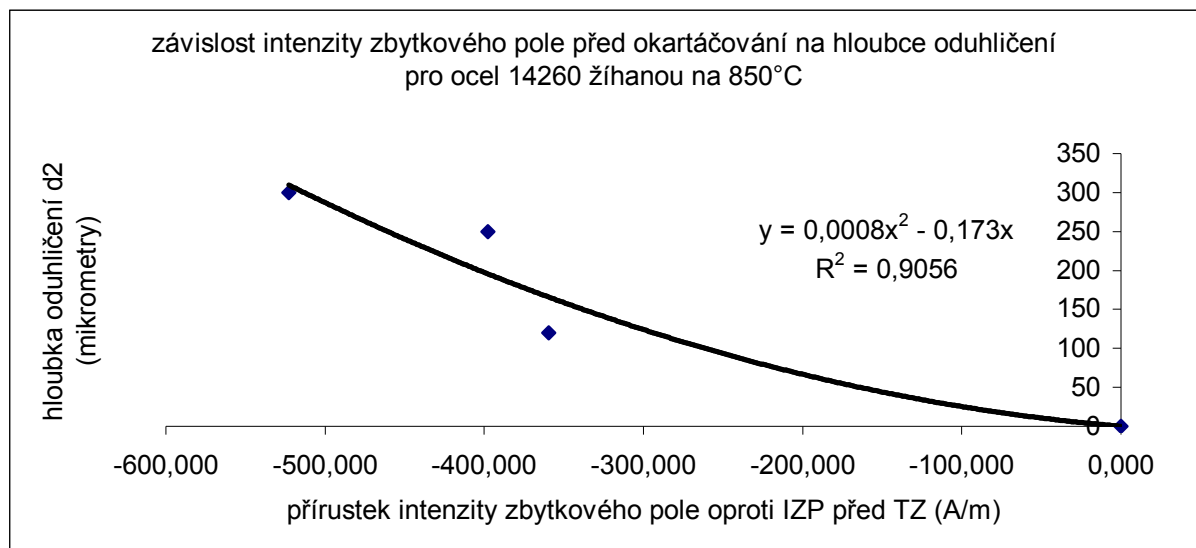


4.3.3. Závislosti přírůstku intenzity zbytkového pole vzorků na hloubce oduhličení d2

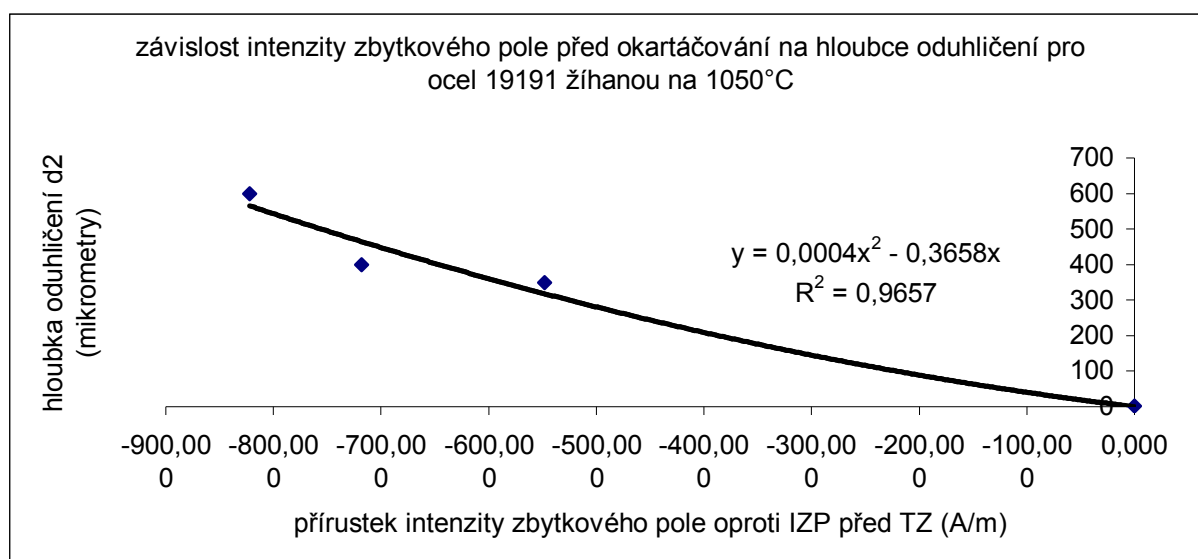
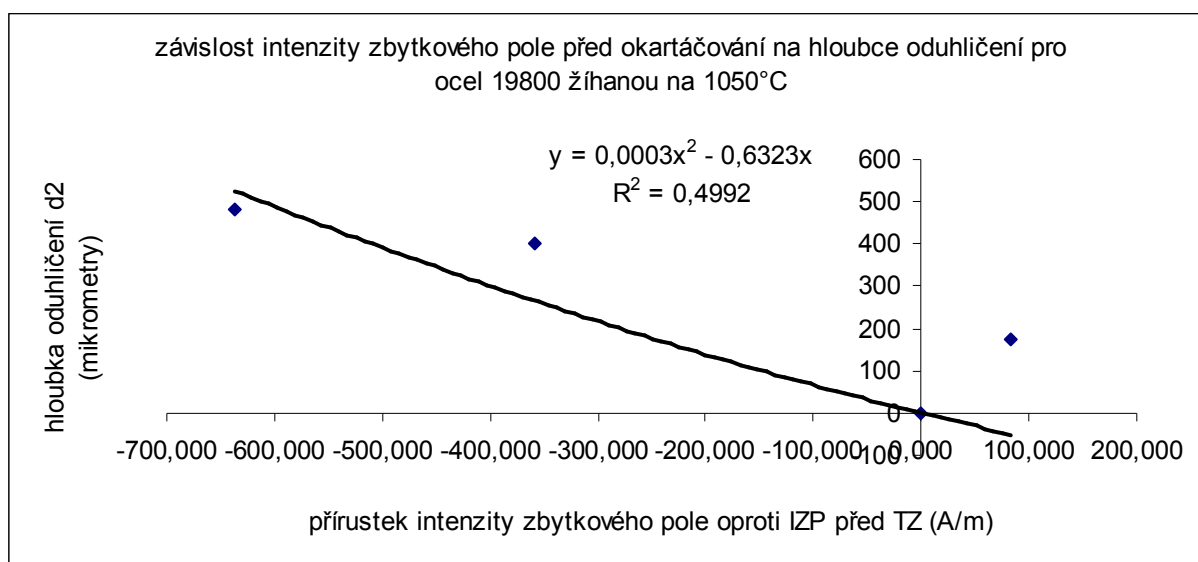
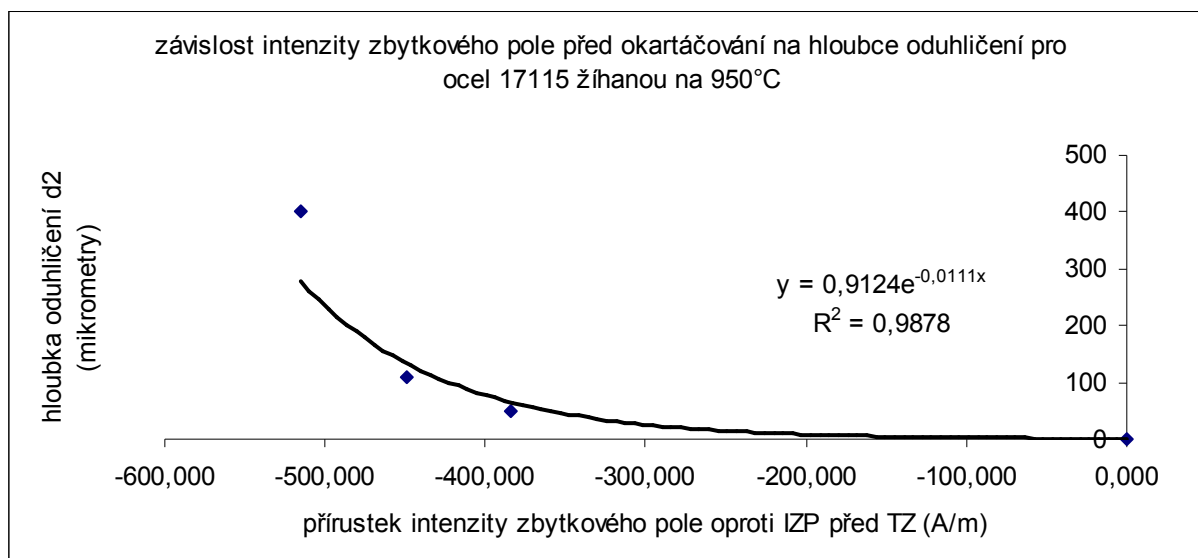
Použité vzorce x-ových souřadnic:

bod0=0, bod1= M10n-MPTZ, bod2= M30n-MPTZ, bod3= M90n-MPTZ

Graf č. 22, 23, 24



Graf č. 25, 26, 27



5. Diskuze:

Tématem moji diplomové práce byla nedestruktivní diagnostika oduhličení souboru ocelí. Měřil jsem vybrané vlastnosti na vybraném souborů oceli různých tříd. Vzorky jsem měl rozdělit do 3 skupin podle obsahu uhlíku a zároveň s přihlédnutím na legury které obsahují. Každá skupina ocelí se potom zpracovávala zvlášť na zvolených teplotách. Přestože jsem prováděl měření pro všechny vzorky, pro další vyhodnocování byly vybrány pouze 2 vzorky z každé skupiny. Závislosti a závěry na nich vytvořené by měly být brány s rezervou (malý počet bodů na křivkách pro věrohodnou regresi), pro bližší zpřesnění a ověření by musela být provedena další tepelná zpracování a měření, která by však obsahově a časově překračovala limit této práce.

Dále bych ještě rád podotknul že měření, které jsem prováděl, bylo primárně určeno jako jeden z dílů pro rozsáhlý projekt, jedná se tedy o určitý výsek- část tohoto projektu a i z tohoto důvodu jsou výsledky málo objektivní a závěr se nedá brát za zcela uzavřený.

Na základě naměřených hodnot vyjadřuji poznatky:

1) Se zvyšující hmotností okují se zvyšuje i hloubka oduhličení ocelí. Rychlost oduhličování a růst okují se však velmi liší a není stejný ani v rámci jednotlivých tříd. Dostí záleží na výchozím chemickém složení.

Pro mnou testovaný výběrový soubor ocelí platí vztahy:

Tab. č. 15

ČSN	žíhací teplota (°C)	závislost	hodnota spolehlivosti
14260	850	$y = -16778x^2 + 4620,2x$	0,9733
19132	850	$y = 912,07x^2 + 796,61x$	0,9675
19662	950	$y = -3677,3x^2 + 3518,3x$	0,8668
17115	950	$y = 0,876e^{156,01x}$	0,9976
19800	1050	$y = -1411,2x^2 + 1658,9x$	0,9637
19191	1050	$y = -58,739x^2 + 1690,3x$	0,9634

x... součet přírůstku hmotnosti okují oproti stavům po okartáčování (g)

y... hloubka oduhličení d2 (μm)

2) Se snižující hmotností vzorků bez okují (odstraněno kartáčováním) se zvyšuje hloubka oduhličení téměř lineárně. Výjimkou je ocel 19191, kde tento jev je zcela obrácený, nicméně v důsledku nepřesvědčivých naměřených hodnot by bylo nejlepší tuto ocel vyřadit z výběru a nebo by musela být předmětem dalších experimentů.

Pro mnou testovaný výběrový soubor ocelí platí vztahy:

Tab. č. 16

ČSN	žíhací teplota (°C)	závislost	hodnota spolehlivosti
14260	850	$y = -2092,6x$	0,9961
19132	850	$y = -412,54x$	0,9758
19662	950	$y = -7230,4x$	0,9978
17115	950	$y = -7333,3x$	0,5804
19800	1050	$y = -3015,5x$	0,9788
19191	1050	$y = 2919,7x$	-0,2963

x... změna hmotnosti (g)

y... hloubka oduhličení d2 (μm)

3) Intenzita zbytkového pole klesá v určité úměře s hloubkou oduhličení. Výjimkou tvoří ocel 19662 kde to platí přesně naopak.

Pro mnou testovaný výběrový soubor ocelí platí vztahy:

Tab. č. 17

ČSN	žíhací teplota (°C)	závislost	hodnota spolehlivosti
14260	850	$y = 0,0008x^2 - 0,173x$	0,9056
19132	850	$y = 0,9575e-0,0109x$	0,9622
19662	950	$y = 0,987e^{0,0462x}$	0,9506
17115	950	$y = 0,9124e^{-0,0111x}$	0,9878
19800	1050	$y = 0,0003x^2 - 0,6323x$	0,4992
19191	1050	$y = 0,0004x^2 - 0,3658x$	0,9657

x... přírůstek intenzity zbytkového pole oproti výchozímu stavu (A/m)

y... hloubka oduhličení d2 (μm)

Z důvodu nepřesvědčivého průběhu nelze tuto metodu doporučit na určování hloubek oceli 19800.

6. Závěr:

Dle zadání diplomové práce bylo provedeno:

- Seznámil jsem se s významem a měřením oduhličení ocelí dle EN- ČSN
- Vypracoval jsem databázi výchozích vlastností experimentálních vzorků vybraných ocelí
- Provedl jsem postupné oduhličování, měření oduhličení a dalších vybraných vlastností vzorků dle EN
- Z naměřených hodnot jsem provedl potřebné výpočty, závislosti a vyjadřuji závěr.

Z naměřených hodnot, výpočtů a sestavených závislostí vyjadřuji závěr:

Metodu určování hloubky oduhličení z hmotnosti okují lze obecně doporučit u všech ocelí.

Metodu určování hloubky oduhličení z úbytku hmotnosti výchozích materiálů lze doporučit u ocelí nízkochromových (14260), středněuhlíkových (19132), rychlořezných (19800) a slitinových (19662). U ocelí vysokochromových (17115) a vysokouhlíkových (19191) není tato metoda vhodná.

Měření hloubky oduhličení metodou magnetické skvrny je velmi vhodné u ocelí nástrojových vysokouhlíkových (19191) a vysokochromových (17115). S menší přesností je možné tuto metodu použít u ocelí nízkochromových (14260) a středněuhlíkových (19132). Pro oceli slitinové (19662) a především rychlořezné (19800) není vhodné použít tuto metodu.

Použitá literatura:

- [1] Jech, J.: Tepelné zpracování oceli Státní nakladatelství technické literatury, Prah 1977
- [2] Sedláček, V., Králik, F., Šejnoha, R. :Difúzní a precipitační procesy v kovových soustavách, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1968
- [3] Polushkin, E. P. : Příčiny a odstraňování vad kovů, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1963
- [4] Skrbek, B., Tomáš, I., Ganev, N. : Charakteristika oduhličených ocelových plechu po různých expozicích, TUL 2011
- [5] Petera, M.: Vliv Cu, Si v litině na hodnoty remanentního magnetismu; Bakalářská práce, 2009 Liberec
- [6] Skrbek, B.: Materiály pro konstrukční aplikace, TUL, Liberec 2009
- [7] EN ISO 3887 Stanovení hloubky oduhličení.
- [8] Tomáš, I., Skrbek, B. a kol.: Characterization of Cast Iron Matrix by Magnetic Adaptive Testing, 2010 Praha -Liberec- Senday
- [9] ELKOS spol. S.r.o.: Návod pro přístroj DOMENA – B3.b

Seznam příloh:

- Příloha 1 - Bateriový přístroj pro měření strukturně mechanických vlastností litin a ocelí DOMENA –B3.b
- Příloha 2 – Celkový přehled teplotních skupin a chemického složení tyček POLDI
- Příloha 3 – Chemické složení tyček POLDI
- Příloha 4 – Souhrn všech naměřených hodnot tyček POLDI
- Příloha 5 – Fotky naleptaných výbrusů tyček POLDI
- Příloha 6 – Výchozí mikrostruktura tyček POLDY
- Příloha 7 –Mikrostruktury vybraného souboru tyček POLDY po tepelném zpracování

Příloha 1:

Bateriový přístroj pro měření strukturně mechanických vlastností litin a ocelí [9]

DOMENA –B3.b



PRINCIP:

Přístroj využívá metody magnetického bodového pólu, kdy přiloženou sondou (standardně průměr 21mm) změří intenzitu remanentního magnetického pole kontrolovaného objemu materiálů (do hloubky cca 5mm) součásti jejíž hodnota přímo závisí např. na množství a disperze perlitu, či hloubce prokalení.

POUŽITÍ:

Velmi krátký čas jednoho měření (cca 3s) a jednoduchá obsluha zaručuje vysokou výkonnost a spolehlivost při krátké kontrole ve výrobě odlitků i tvářených ocelových dílů a provozní strukturní diagnostice. DOMENA B3.b umožňuje stanovit a přímo na displeji ukazovat hodnoty tvrdosti, pevnosti, hloubku prokalení. Tedy všechny vlastnosti, které závisí na množství a disperzi magnetických strukturních složek jako perlit, cementit, bainit..

POPIS:

Přístroj je přenosný, nezávislý na vnějším napájení a umožňuje nasazení v provozu. Má digitální údaj změřené hodnoty, umožňující bezchybné a rychlé odečtení. Pro nabíjení akumulátoru je dodávána nabíječka, která zabezpečuje nabíjení záložních akumulátorů mimo měřicí přístroj. Jednoduchou výměnou akumulátoru v přístroji dosáhneme možnosti nepřetržitého opakování měření.

Na čelním panelu má přístroj umístěný funkční přepínač, klávesnici a indikaci stavu. Tyto obslužné prvky umožňují nastavit přístroj tak, aby digitální údaj ukazoval přímo ve zvolených jednotkách, na které byl přístroj nakalibrován. Dále umožňuje kalibraci přístroje podle etalonů uživatele a výpočet jednoduchých statistických údajů ze zapamatovaných hodnot. Naměřené údaje /100 hodnot/ lze nejen uložit, ale i přenést po sériové lince do Vašeho počítače.

Jednodušší typ Doména B3 není vybaven klávesnicí, přepínačem funkcí, pamětí naměřených hodnot, výstupem RS 232 a zobrazuje pouze bezrozměrná čísla.

TECHNICKÉ PARAMETRY:

Výstupní paměť: Sériový RS 232

Napájení: Pb akumulátor 2x 12 V/ 2 Ah

Rozměr přístroje: 300x230x150mm

Hmotnost: 3,5 kg

VÝHODY PŘÍSTROJE:

- Sondu přístroje lze konstruovat takového tvaru, který odpovídá zkoušeným místům součástí. Standardně se dodává základní univerzální sonda s rovným snímacím čelem.
- Přístroj nepotřebuje kromě nabíjení akumulátoru žádnou údržbu.
- V přístroji je použita moderní mikroprocesorová technika, umožňující jednoduchou obsluhu a diagnostickou kontrolu.
- Použitím příložené sondy dodává velkou prostorovou dostupnost měření (měření v dutinách), klasickými metodami měření nedostupnou. Lze mapovat rozložení vlastností po součásti a vyhledávat kritická místa (např. odlitku bloků válců).
- Praxí ověřená produktivita měření umožňuje 100% kontrolu i při hromadné výrobě. Měření jednoho odlitku netrvá déle než 6 sec.

- Provedení je možno použít v soustavě SYLIT, která s ultra-zvukovým tloušťkoměrem a elektronickým posuvným pravítkem umožňuje určit velice přesně pevnost stěn složitých litinových odlitků (např. blok motoru, nově vyvinutá metoda používaná v ŠKODA LIAZ JABLONEC a.s.)

APLIKACE U VÁS:

- Můžete si vyžádat nejprve (na objednání přístroje závazné) ověření vhodnosti této kontrolní metody na svých odlitcích.
- Dodávka přístroje DOMENA je spojena se zaškolením obsluhy na Vašem pracovišti a vypracování technologické návodky kontroly – vše v ceně přístroje,
- Záruka 1 rok

CENA PŘÍSTROJE:

Domena B3 (akumulátorový přístroj, bez výstupu RS, bez klávesnice)	59 950,- Kč bez DPH
Domena B3.b	69 450,- Kč bez DPH
Domena B3.b s nabíječem akumulátorů NB-11 /3900,- Kč/	73 350,- Kč bez DPH

Příloha 2 – Celkový přehled teplotních skupin a chemického složení tyček POLDI

teplota žihání (°C)	ČSN	M.Č.	POLDI
850°C	19474	3	B200
	19451	5	RED1
	11600	12	TGW
	14160	14	T2EX
	14331	15	ROL
	14220	16	CE2
	14150	17	AUTO
	12010	20	W8
	14260	25	SCH
	14240	26	2520
	14340	27	AL16
	15241	28	CVZ
	19083	30	T6H EX
	19221	32	FS
	19132	33	6
	13250	37	SGM
	14100	39	CKL
	15130	44	CM3
	19085	45	TC EXTRA
	19103	51	T5WEX
	13240	53	2518
950°C	19712	2	SOLAR
	17021	6	AK1
	19662	9	TBM1
	19732	10	TENAX N
	19716	13	ODIAMANT
	19313	18	STABIL SE
	16220	19	BEV 2
	17115	24	702D
	17029	34	AK5
	16640	42	CNL
	16720	43	HOR
	19312	46	STABIL
	16420	49	TEM
1050°C	19701	7	SP
	19800	8	MAX SPEC G
	19855	11	MAX SP 55
	19422	21	EK
	19423	22	CR
	19436	23	2002
	19191	29	EZH
	19721	35	212
	17252	36	AKR
	17242	40	AKV
	17255	41	AKC
	19437	47	2002 SPEC
	19810	50	RADECO
	19421	52	DS SP

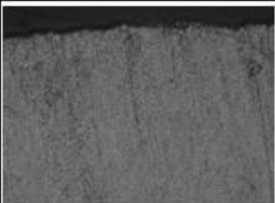
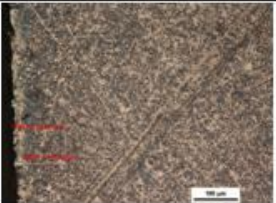


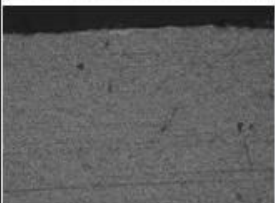
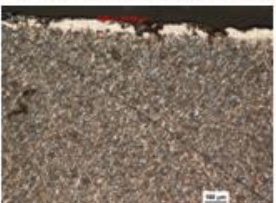
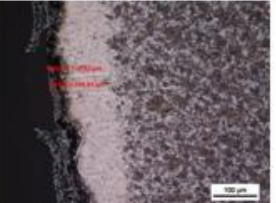

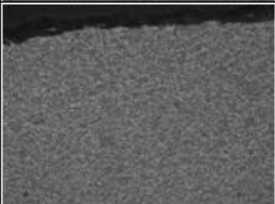

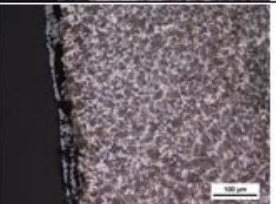

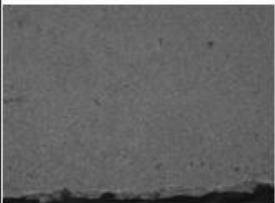
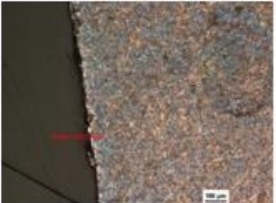
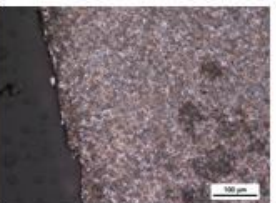

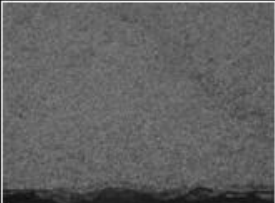
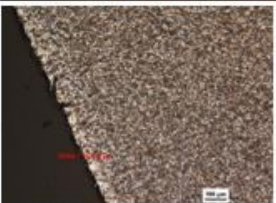
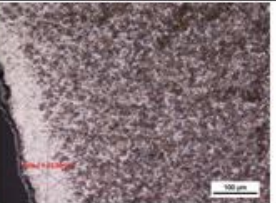

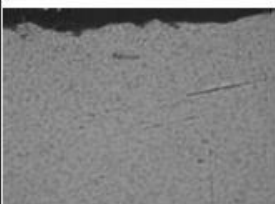

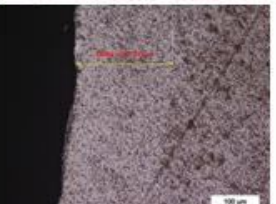

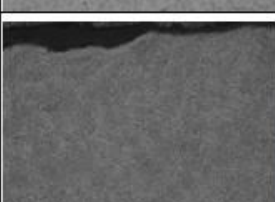



Příloha 3 – Chemické složení tyček POLDI (obsahy v %, u P a S je uveden maximální obsah)

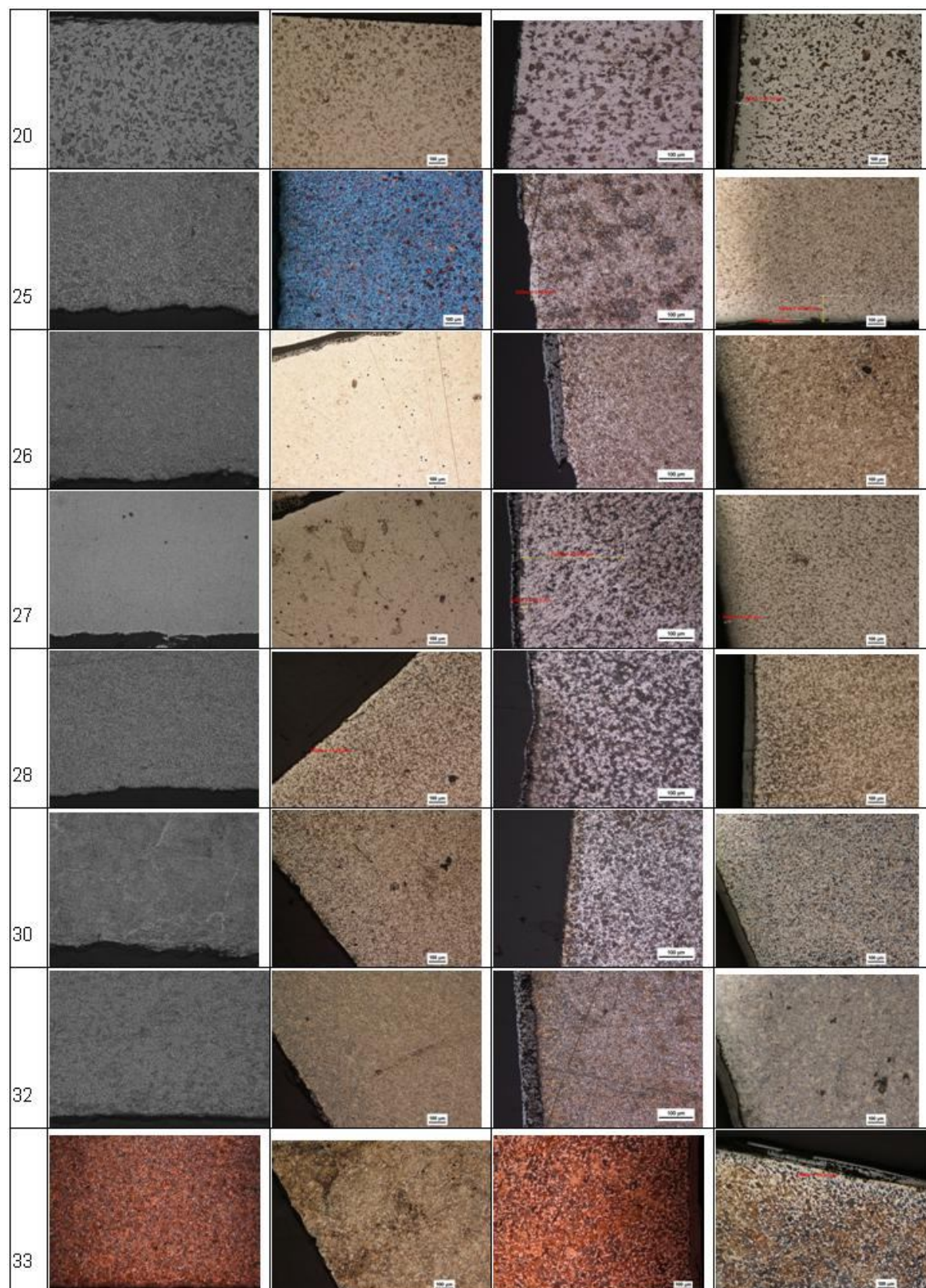
M.Č.	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo	W	Cu	Al	Co	P	S
3	0,4			3,8									
5	0,40-0,55	0,40-0,70	1,2-1,86	0,40-0,80								0,045	0,045
12													
14	0,5-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,28-0,35	0,80-1,1	0,90-1,2	0,80-1,1	0,40				25			0,035	0,035
16	0,14-0,19	0,3-0,4	0,35	0,80-1,1								0,04	0,04
17	0,35-0,42	0,50-0,80	0,17-0,37	0,80-0,1	0,40				25			0,035	0,035
20	0,06-0,13	0,60	0,35									0,04	0,01
25	0,50-0,60	0,50-0,80	1,3-1,6	0,50-0,70								0,035	0,035
26	0,33-0,38	1,6-1,9	0,40	20,4								0,04	0,04
27	0,28-0,38	0,50-0,90	0,40	1,1-1,9						0,90-1,3		0,035	0,035
28	0,35-0,42	0,60-0,75	0,35	1,7-2	0,60	0,10-0,20						0,04	0,04
30	0,75-0,85	0,80-1,2	0,45-0,75	0,30-0,55								0,04	0,04
32	1,1-1,25	0,20-0,35	0,30									0,03	0,03
33	0,60-0,75	0,40	0,35									0,04	0,035
37	0,38-0,48	1,6-1,9	0,20-0,30	0,25								0,035	0,05
39	0,95-1,5	40-60	20-40	1,25-1,5								0,035	0,035
44	0,25-0,33	0,40-0,70	0,17-0,37	0,80-1,1	0,20		0,25		25			0,045	0,03
45	0,40-0,50	0,55-0,85	0,40									0,04	0,04
51	0,50-0,60	0,50-0,80	0,40									0,04	0,04
53	0,33-0,40	1,1-1,4	1,1-1,4									0,04	0,04
2	1,2												
6	0,09-0,15	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,55	0,7	-	0,7	1,7	0,17	0,22	-	-	-	-	-	-
10	0,42-0,52	0,4	0,80-1,2	0,90-1,3				1,6-2,2				0,035	0,035
13	1,25-1,45	0,40	0,35	0,40-0,70		0,35-0,45		4,5-5,5				0,035	0,035
18	0,80-0,95	1,75-2,12	0,40	0,20-0,45		0,10-0,25						0,035	0,035
19	0,14-0,19	0,70-2	0,25	0,80-1,1	1,3-1,6							0,04	0,04
24	0,40-0,50	0,20-0,60	2,8-3,5	7,5-9,5								0,035	0,035
34	0,4-0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	0,30-0,40	0,35-0,70	0,35	0,80-1,2	4,7-5,3							0,035	0,035
43	0,14-0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	0,75-0,90	1,8-2,15	0,40	0,20-0,25								0,035	0,035
49	0,10-0,17	0,30-0,60	0,10-0,35	0,50-0,90	3,2-3,7							0,04	0,04
7	1,1-1,25	0,40	0,35					0,50-1				0,035	
8	0,75-0,85	0,5	0,5	3,5-4,5	1,5-2,2	1,65		8-9,5				0,04	0,04
11	0,65-0,75	0,50	0,50	3,8-4,8		1-1,8		17-19			4,5-5,2	0,04	0,04
21	1,3-1,5	0,40-0,70	0,40	1,5-1,8		0,10-0,25						0,035	0,035
22	0,85-1,25	0,40	0,35	0,50-0,90		0,5-2						0,035	0,035
23	1,8-2,1	0,50	0,50	12-13								0,035	0,035
29	0,95-1,8	0,20-0,35	0,30									0,03	0,03
35	0,3			2,35	-			9,25					
36	0,40-0,50	0,70	1	0,12-0,15	38		20-10	2-2,75				0,04	0,04
40	0,25 max	-	-	18,5	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-
41	0,25 max	-	-	25	20	-	-	-	-	-	-	-	-
47	1,8-2,1	0,50	0,50	11-13		0,15-0,70		0,80-1				0,035	0,035
50	1,2-1,35	0,50	0,50	4-4,8		3,5-4,5		10-12				0,04	0,04
52	1,1-1,25	0,35	0,35	0,80-2,7		0,6						0,035	0,035

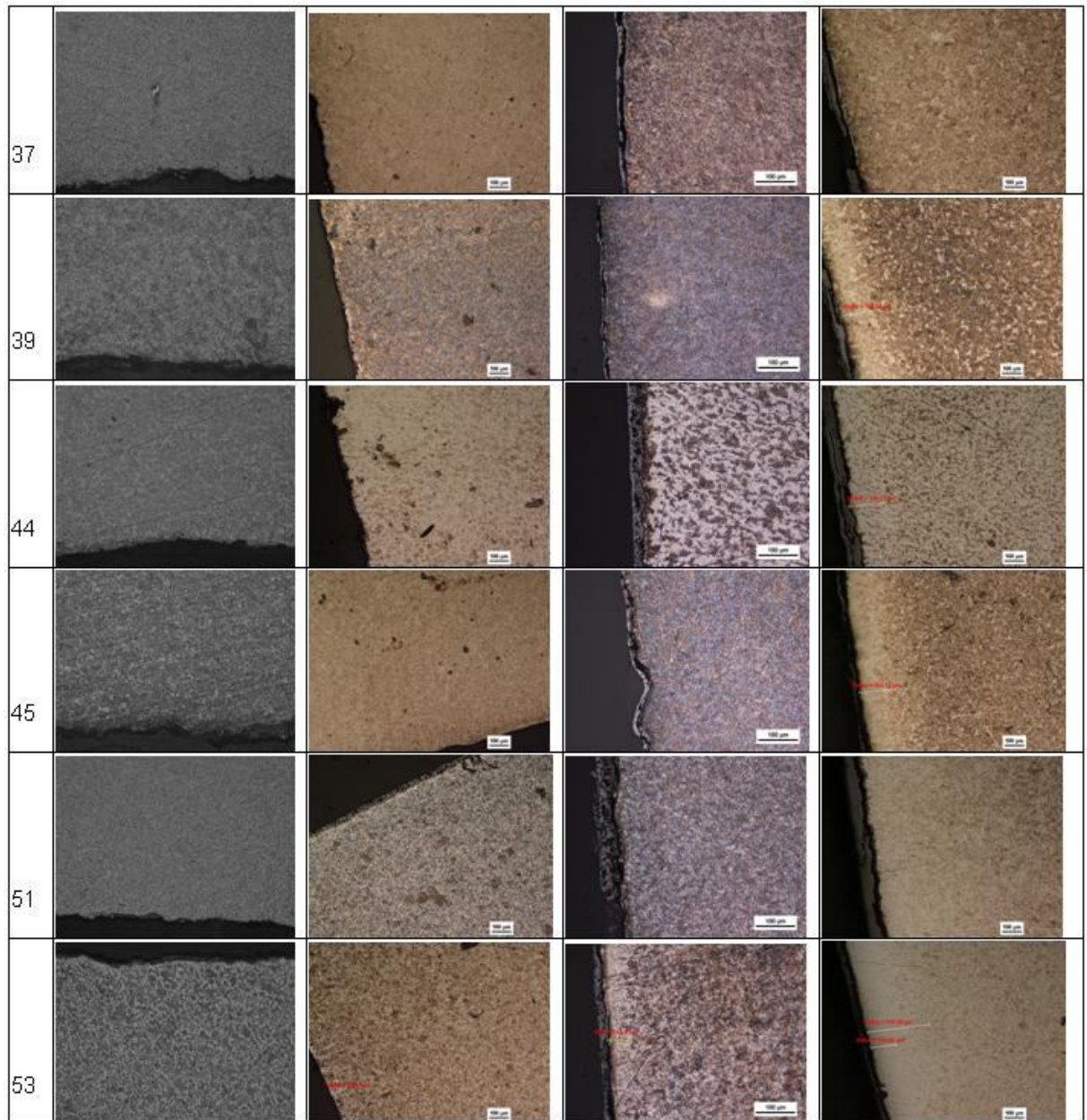
Příloha 4– Souhrn všech naměřených hodnot tyček POLDI

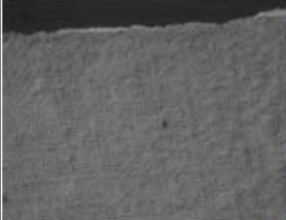

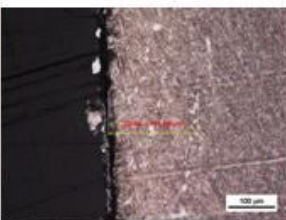


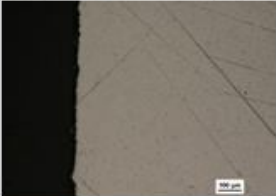


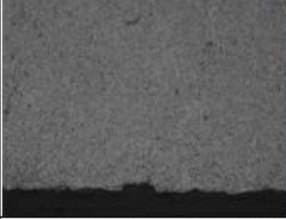

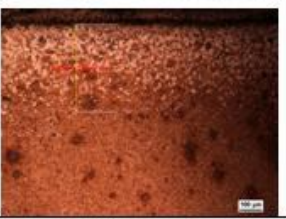

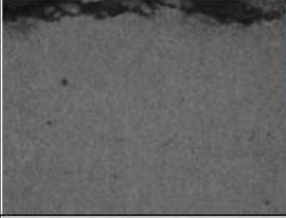
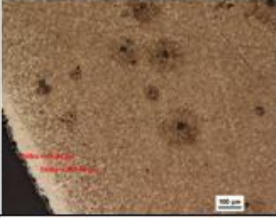
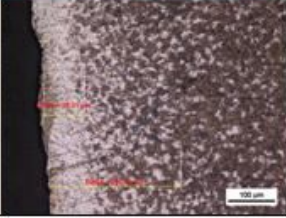

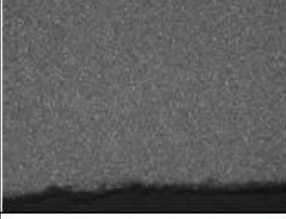
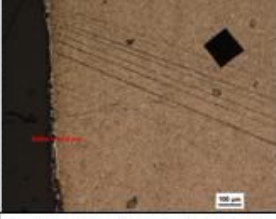

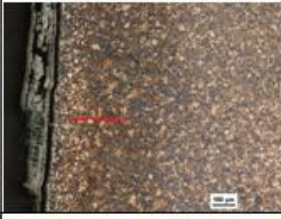
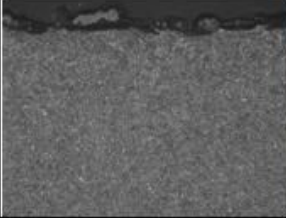
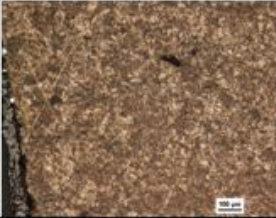
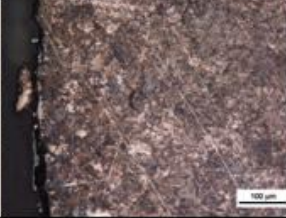
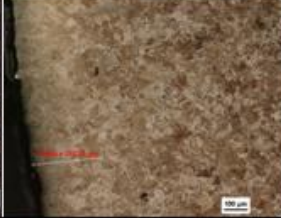
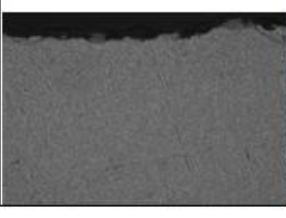
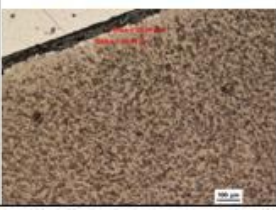

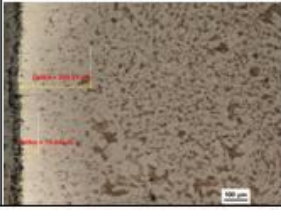
	m(g)						Ø M4 (A/m)				HV střed				d2 (µm)		
	PTZ	10o	10n	30o	30n	90o	bez TZ	10o	30o	90o	PTZ	10	30	90	10	30	90
3	11,083	11,138	10,965	10,981	10,885	10,946	992	833	764	792	210	204	193	198	30		
5	11,769	11,838	11,595	11,602	12,523	11,580	1070	606	423	329	247	227	229	217	44		
12	11,344	11,395	11,295	11,333	11,263	11,338	743	434	458	423	180	164	177	175	50		
14	11,435	11,495	11,392	11,424	11,346	11,408	1067	775	822	738	230	213	227	226	30		
15	11,207	11,300	11,024	1,054	10,959	11,025	868	532	533	393	212	212	189	199	80		
16	11,421	11,496	11,254	11,296	11,158	11,250	606	409	400	387	176	146	146	143	80		
17	11,453	11,506	11,321	11,351	11,207	11,293	1028	1043	949	1032	220	221	230	242	50		
20	11,552	11,649	11,311	11,328	11,193	11,305	716	260	211	220	184	148	151	142	20		
25	11,011	11,048	10,949	10,975	10,894	10,941	966	606	568	443	233	225	232	215	120	250	300
26	11,083	11,151	11,010	11,060	11,011	11,028	1005	930	957	889	242	237	242	240	32		
27	10,423	10,487	10,732	10,352	10,199	10,254	1148	578	570	553	384	178	177	167	90		
28	11,566	11,616	11,448	11,499	11,351	11,442	958	684	709	680	176	183	181	181	100		
30	11,675	11,734	11,514	11,555	11,416	11,517	905	533	485	466	210	180	176	162	50		
32	11,334	10,955	10,878	10,909	10,877	10,924	1132	623	568	592	252	201	197	188	80		
33	11,119	11,184	11,010	11,038	10,888	11,000	936	546	546	465	240	197	202	199	35	100	200
37	11,063	11,120	10,997	11,032	10,965	11,018	1174	944	1012	977	261	235	260	256	50		
39	11,406	11,448	11,747	11,381	11,308	11,363	1425	1056	1074	1104	255	256	249	260	50		
44	11,106	11,176	10,783	11,002	10,880	10,962	928	325	360	349	182	142	165	166	90		
45	11,424	11,462	11,364	11,398	11,271	11,342	1456	895	964	1008	270	269	271	269	90		
51	11,673	11,743	11,628	11,651	11,535	11,599	1025	493	494	574	190	189	186	190	65		
53	11,361	11,406	11,260	11,284	Ztraceno v FzU		582	482	439	354	244	226	223	206	43		
2	12,300	12,367	12,320	12,365	12,227	12,354	1050	891	588	883	250	281	332	318	53		
6	11,450	11,456	11,449	11,481	11,388	11,410	911	374	448	396	176	160	163	159	75		
9	11,450	11,561	11,426	11,509	11,354	11,564	684	813	822	813	213	470	650	652	150	700	800
10	12,150	12,204	12,078	12,157	11,821	12,005	1315	717	583	494	299	257	260	264	250		
13	12,200	12,250	12,193	12,218	12,020	12,187	1131	732	704	787	290	297	320	333	40		
18	11,600	11,704	11,594	11,673	11,594	11,769	1558	1443	1552	1572	316	292	315	312	50		
19	11,500	11,665	11,475	11,591	11,545	11,758	851	430	407	480	274	187	174	174	110		
24	10,750	10,775	10,754	10,757	10,735	10,742	931	546	482	415	315	295	265	257	50	110	400
34	10,970	11,032	10,971	10,791	10,950	10,991	1142	775	740	720	490	251	213	205	30		
42	11,680	11,818	11,702	11,812	11,718	11,845	1156	995	720	1017	370	614	640	576	150		
43	11,300	11,354	11,228	11,308	11,103	11,284	957	654	1084	1187	432	441	432	430	200		
46	11,450	11,516	11,373	11,460	11,354	11,554	999	1438	1508	1264	250	301	290	332	40		
49	11,200	11,361	11,226	11,343	11,253	11,433	810	653	633	574	230	252	245	230	90		
7	11,250	11,422	10,933	11,107	10,819	11,174	1108	578	316	334	254	253	264	270	200		
8	11,550	11,711	11,480	11,600	11,424	11,707	1352	1435	994	714	263	510	400	347	175	400	480
11	13,150	13,298	13,224	13,309	13,160	13,324	1654	1465	865	1149	360	310	343	370	300		
21	12,500	11,706	12,624	12,758	12,670	13,031	1490	1587	1391	1148	310	338	382	380	70		
22	11,500	11,766	11,525	11,641	11,608	12,002	1458	1112	863	566	310	339	311	320	220		
23	11,050	11,072	11,056	11,081	11,058	11,151	1651	1342	1107	1189	303	300	304	288	160		
29	10,850	11,035	10,843	10,936	10,987	11,049	1067	519	349	245	270	270	218	165	350	400	600
35	12,100	12,169	11,936	12,039	11,788	12,040	1149	814	632	751	298	203	229	218	270		
36	11,650	11,705	11,693	11,698	11,692	11,690	130	90	92	127	315	236	232	212	150		
40	11,850	11,882	11,860	11,860	11,851	11,847	13	161	42	80	332	207	200	192	120		
41	11,100	11,101	11,071	11,077	11,067	11,071	14	11	2	3	309	217	211	186	45		
47	10,900	10,955	10,952	10,971	10,961	11,023	1806	1327	1033	1069	380	296	318	319	350		
50	12,200	12,321	12,106	12,291	12,052	12,342	1233	1543	875	655	250	524	518	523	270		
52	11,500	11,790	11,727	11,591	10,568	10,990	1479	1222	1425	727	312	324	347	339	250		

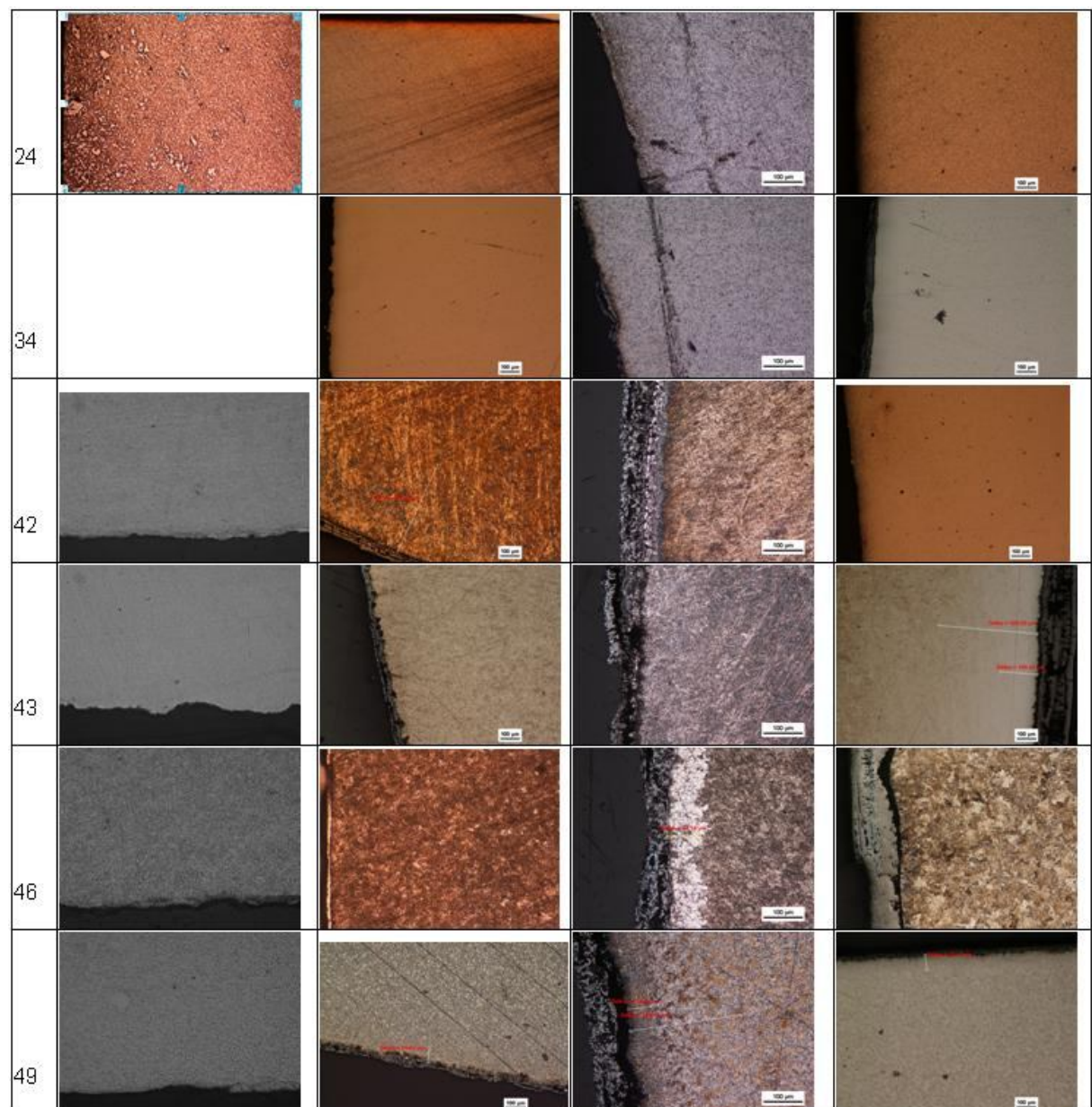
Příloha 5 – Fotky naleptaných výbrusů tyček POLDI

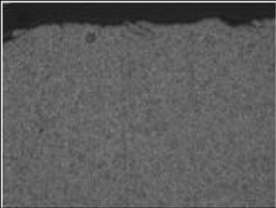
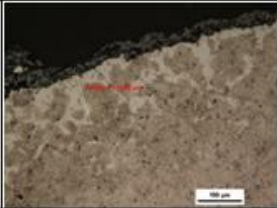
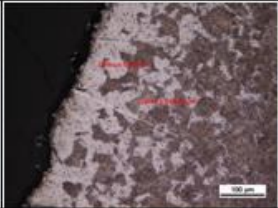
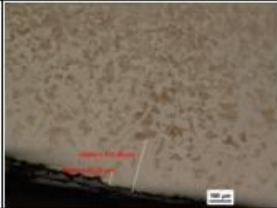
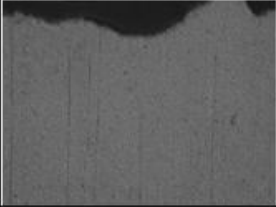
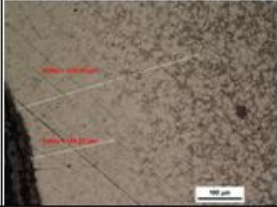
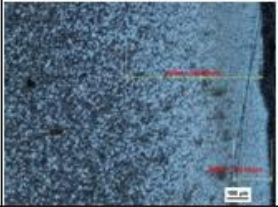
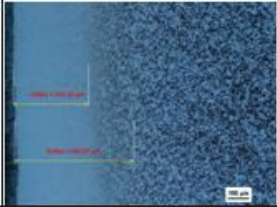
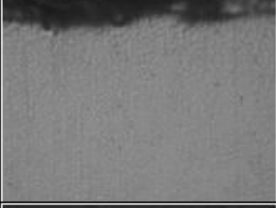

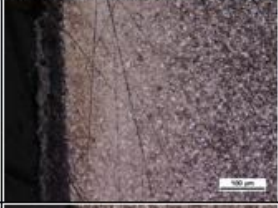

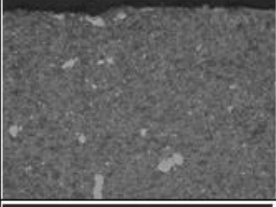
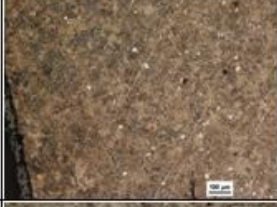
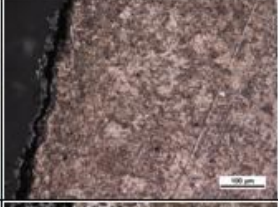

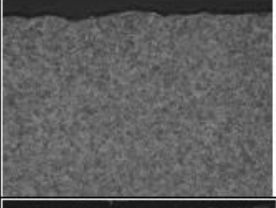

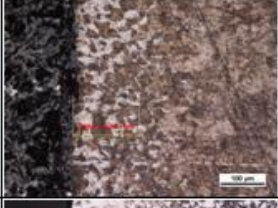

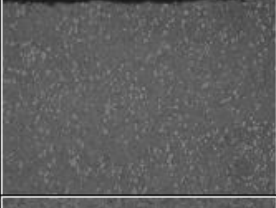

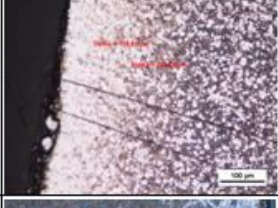
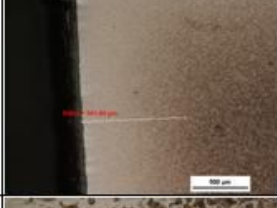
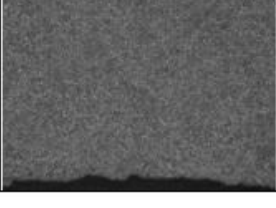

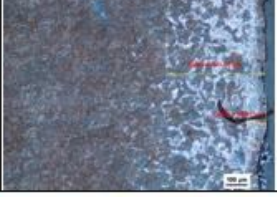

850 °C	Bez TZ	Po 10min výdrže na VTO	Po 30min výdrže na VTO	Po 90min výdrže na VTO
3				
5				
12				
14				
15				
16				
17				

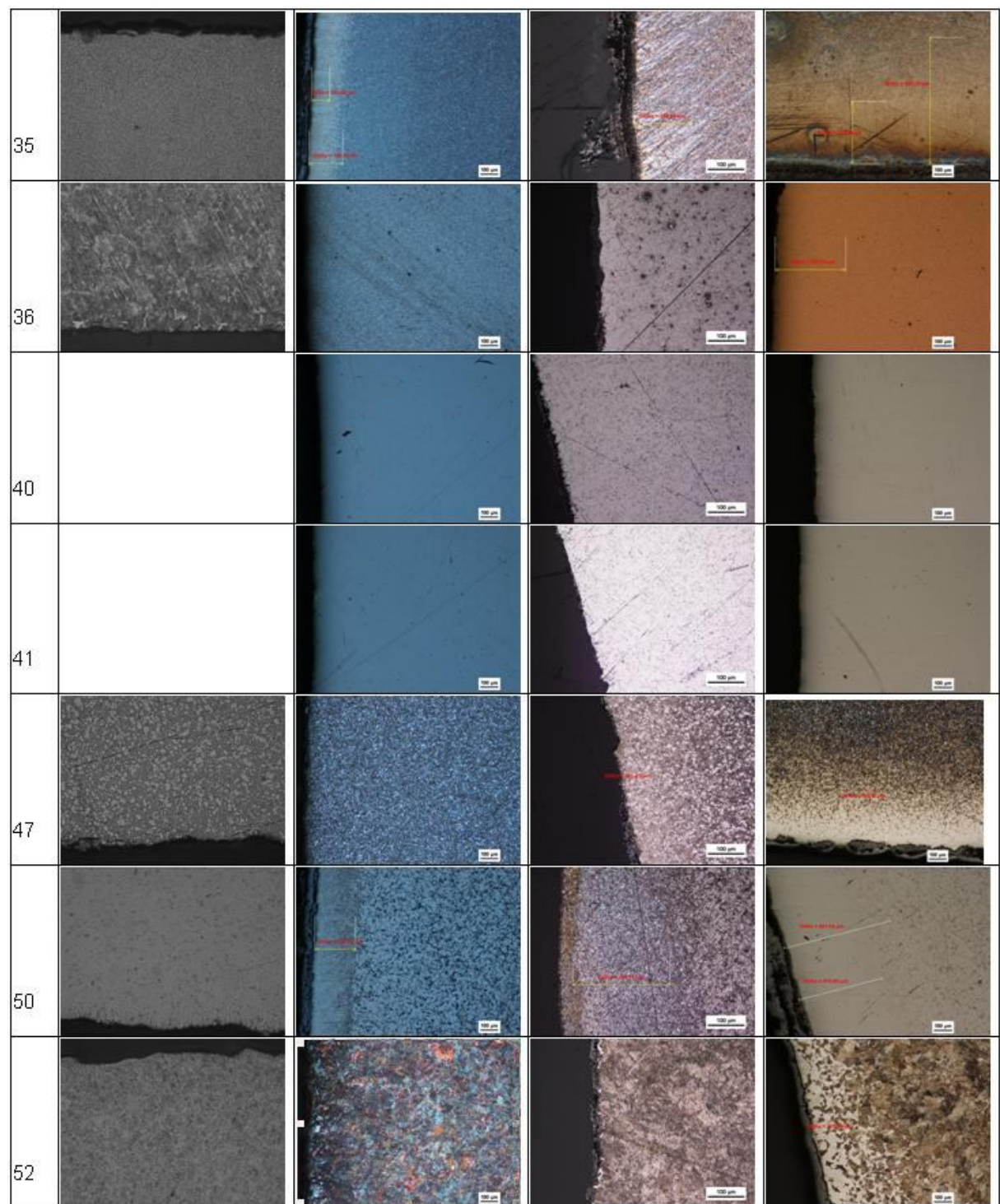




950 °C	Bez TZ	Po 10min výdrže na VTO	Po 30min výdrže na VTO	Po 90min výdrže na VTO
2				
6				
9				
10				
13				
18				
19				



1050 °C	Bez TZ	Po 10min výdrže na VTO	Po 30min výdrže na VTO	Po 90min výdrže na VTO
7				
8				
11				
21				
22				
23				
29				



Příloha 6 – Výchozí mikrostruktura tyček POLDY

M.Č. struktura

- 1 ferit a zrna perlitu - velmi jemnozrná struktura
- 2 velmi jemná martenzitická struktura
- 3 Velmi jemně rozptýlený karbidy - homogenní sorbit
- 4 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 5 Jemně rozptýlené karbidy - homogenní sorbid
- 6 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 7 Velmi jemně rozptýlené karbidy - měkké. žíhání .3
- 8 Jemně rozptýlené karbidy spolu s primár. karbidy W
- 9 Velmi drobné karbidy ve feritické hmotě - měkké.. Žíh. .3
- 10 Velmi drobné karbidy leg. prvků - homogenní sorbid
- 11 Jemně rozptýlené karbidy spolu s primárními karbidy W - měkké.. žíh.
- 12 Velmi jemně rozptýlené karbidy - měkké žíhání .3
- 13 Velmi jemně rozptýlené karbidy, drobné primární karbidy sledují hranici zrn
- 14 Jemně rozptýlené karbidy - homogenní sorbid
- 15 ferit a velmi jemně rozptýlené globule perlitu (karbidy) - měkké žíhání .3
- 16 ferit a drobná zrna karbidů vyloučených po hranici zrn
- 17 ferit a částečně sferoidizovaný perlit - odpovídá základnímu žíhání .1
- 18 částečně sferoidizovaná perlitická zrna - základní žíhání .2
- 19 Velmi jemně rozptýlené karbidy ve feritické hmotě - měkké.. Žíh. .3
- 20 ferit a zrna velmi jemného perlitu
- 21 velmi drobná zrnka přechlazeného perlitu s tenkými obálkami feritu po hranicích zrn
- 22 Velmi jemná zrna částeč. Sferoidizovaného perlitu s tenkými obálkami feritu po hranicích zrn
- 23 Jemně rozptýlené karbidy spolu s karb. Cr. - měkké.. Žíhání .3
- 24 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 25 Jemně rozptýlené karbidy - homogenní sorbid
- 26 jemně rozptýlené karbidy (globulární perlit - měkké žíh. .3)
- 27 jemně rozptýlené karbidy - heterogenní sorbid
- 28 jemně rozptýlené karbidy (glob. perlit – měkké. žíhání .3)
- 29 Velmi jemně rozptýlené karbidy - měkké. žíhání .3
- 30 Částečně sferoidizovaná zrna perlitu s obálkami feritu po hranicích zrn
- 31 Velmi jemná částečně sferoidizovaná zrna perlitu s jemnými karbidy leg. Prvků po hranicích zrn
- 32 Velmi jemně rozptýlené karbidy - měkké žíhání .3
- 33 Zrna velmi jemného lamelárního perlitu s obálkami feritu po hranicích zrn
- 34 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 35 Globulární perlit s jemnými primárními karbidy W
- 36 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 37 Velmi jemně rozptýlený karbidy - homogenní sorbit
- 38 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 39 Velmi jemně rozptýlené karbidy - měkké žíhání .3
- 40 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 41 Chromová ocel - velmi obtížné naleptání běžnou chem. cestou
- 42 Velmi jemná struktura - heterogenní sorbid
- 43 Strukturu tvoří nízkouhlíkový bainit
- 44 ferit a globule perlitu
- 45 jemná perlitická zrna s počátkem sferoidizace lamel s malým množstvím feritu
- 46 jemně rozptýlené karbidy (globulární perlit) ve feritické hmotě - měkké žíhání .3
- 47 Velmi jemná bainitická zrna
- 48 Homogenní sorbid, nebo měkké. žíhání
- 49 Velmi jemně rozptýlené karbidy ve feritické hmotě - měkké. žíh. .3
- 50 Velmi jemně rozptýlené karbidy spolu s primárními karbidy W -měkké. žíh. .3
- 51 Jemně rozptýlené karbidy (globulární perlit - měkké. žíh .3)
- 52 Velmi jemně rozptýlené karbidy - měkké. žíhání .3
- 53 Velmi jemnozrná struktura feriticko perlitická (zrna perlitu jsou bez výrazné lamelární morfologie)

Příloha 7 –mikrostruktury vybraného souboru tyček POLDY po tepelném zpracování

M.Č. struktura po 10 minutách žihání	
25	Mikrostrukturu tvoří ferit a zrna perlitu s počátkem sferoidisace.
33	Mikrostrukturu tvoří ferit a zrna perlitu s počátkem sferoidisace.
9	Světlá zrna martenzitu a jehličky bainitu
24	Velmi jemné karbidy ve feritické hmotě
8	Světlá martenzitická zrna bez výrazné morfologie, po hranicích těchto zrn jsou vyloučeny přechodové složky.
29	Ferit a zrna lamelárního až přechlazeného perlitu

M.Č. struktura po 30 minutách žihání	
25	Mikrostrukturu tvoří ferit a zrna perlitu s počátkem sferoidisace.
33	Ferit a zrna částečně sferoidisovaného perlitu
9	Velmi jemný martenzit
24	Velmi jemné karbidy ve feritické hmotě
8	Světlá martenzitická zrna bez výrazné morfologie, po hranicích těchto zrn jsou vyloučeny přechodové složky.
29	Perlitická struktura s částečnou sferoidisací perlitu.

M.Č. struktura po 90 minutách žihání	
25	Ferit a zrna lamelárního až přechlazeného perlitu.
33	Ferit a zrna jemného lamelárního perlitu
9	Ferit a zrna lamelárního až přechlazeného perlitu
24	Jemné karbidy Cr ve feritické hmotě
8	Světlá martenzitická zrna bez výrazné morfologie, po hranicích těchto zrn jsou vyloučeny přechodové složky.
29	Lamelární až přechlazený perlit bez známek feritu.